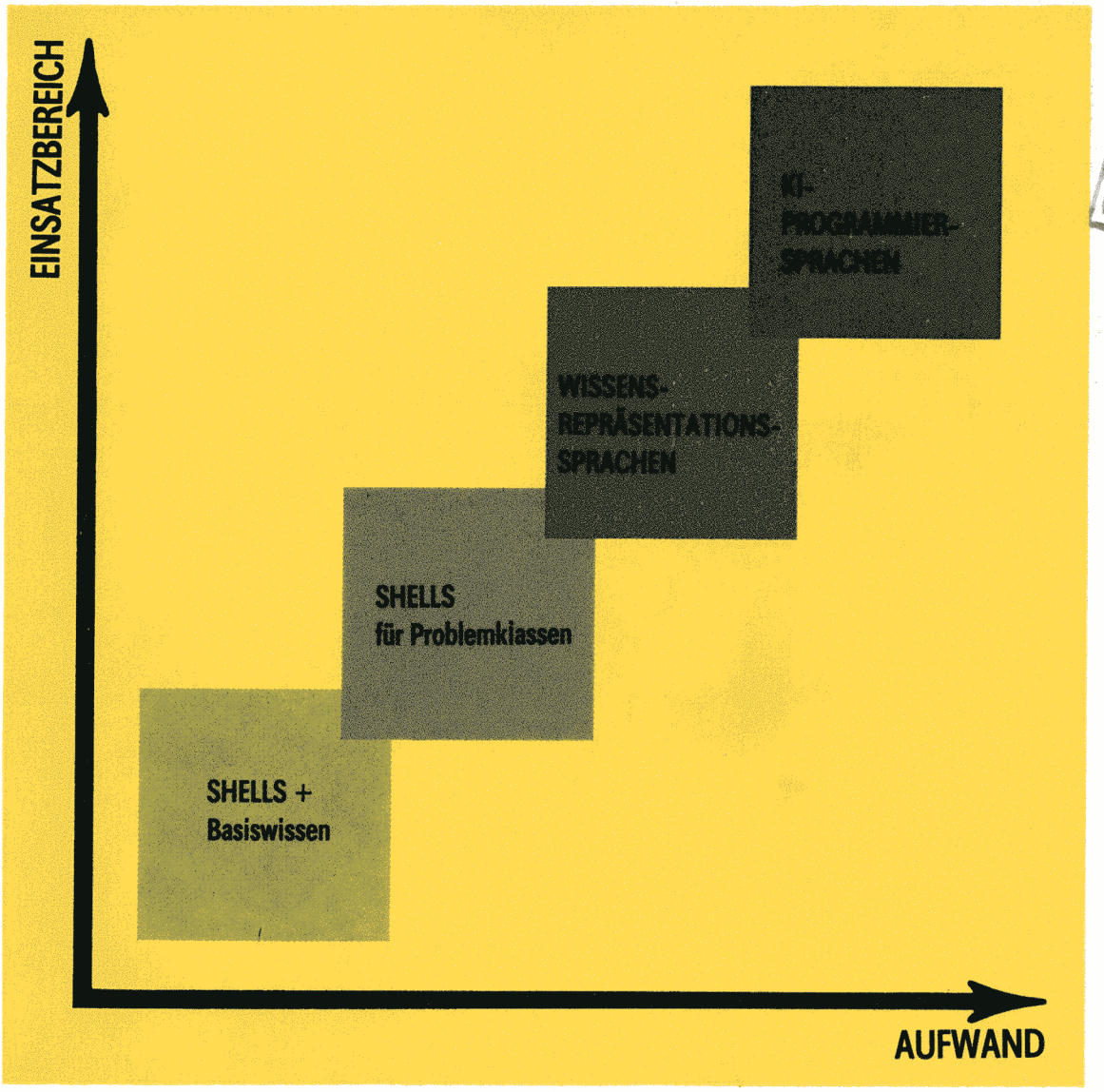
mst

10
1988

VEB
Ammendorfer
Plastwerk
Wissenschaftliche
Bibliothek - PSF 10
Halle - 4073

messen·steuern·regeln



AS Elektro/I
- 2 1 1 8 8
VEB Ammendorfer Plast

VEB
Verlag Technik
Berlin
EVP: 4,- M

Nachauflagen Auslieferung in diesen Tagen

Elektromagnetische Verträglichkeit

Störbeeinflussung in Automatisierungsgeräten und -anlagen

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Ernst Habiger. REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK, Band 212. 2., stark bearbeitete Auflage. 80 Seiten, 72 Bilder, 20 Tafeln, Broschur, DDR 4,80 M, Ausland 8,— DM. Bestellangaben: 5534743/Habiger, Magnet RA 212

In einer leicht verständlichen Darstellung werden die Grundlagen der neuen Fachdisziplin „Elektromagnetische Verträglichkeit" erläutert und es wird gezeigt, welche Maßnahmen zu ergreifen sind, um den störungsfreien Betrieb empfindlicher mikroelektronischer Betriebsmittel im Umfeld leistungsstarker elektrischer Aggregate zu ermöglichen. Die Auflage berücksichtigt die neuesten Erkenntnisse und die Standardisierung dieses noch an Bedeutung gewinnenden Fachgebiets.

Einführung in die Informationsverarbeitung

Von Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Entreß und Dr.-Ing. Lieselotte Entreß. 2., bearbeitete Auflage. 312 Seiten, 341 Bilder, 108 Tafeln, Leinen, DDR 23,50 M, Ausland 36,— DM. Bestellangaben: 5539202/Entreß, Information

Das Buch vermittelt die technischen Grundlagen der Informationsverarbeitung. Behandelt werden vor allem Grundbegriffe und Wirkprinzipien der Technik der Informationsverarbeitung sowie Datenträger, Speicher, Prozessoren, Rechner, Datenübertragung, Rechnersysteme, Peripherie, Architekturen, Bauelemente und Betriebssicherheit. Mit Beispielen, Übungsaufgaben und Lösungen.

Handbuch Datenerfassung

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Manfred Krauß, Doz. Dr.-Ing. Ernst Kutschbach und Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Eugen-Georg Woschni. 3., bearbeitete Auflage. 340 Seiten, 250 Bilder, 73 Tafeln, Leinen, DDR 44,— M, Ausland 52,— DM. Bestellangaben: 5539173/Krauß, Datenerfassung

Handbuch über alle wesentlichen Aspekte der Datenerfassung einschließlich damit zusammenhängender Verarbeitungsaufgaben. Im Mittelpunkt der Ausführung stehen Organisation, Technik und Anwendung. Die Auflage berücksichtigt die Fortschritte auf den Gebieten der Mikroelektronik und Mikrorechentechnik.

VEM-Handbuch Prozeßsteuerungstechnik

Von einem Autorenkollektiv unter Leitung von Dr.-Ing. Kurt Grubba. Herausgeber: Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin. 2., durchgesehene Auflage. 312 Seiten, 164 Bilder, 72 Tafeln, Kunstleder, DDR 32,— M, Ausland 42,— DM. Bestellangaben: 5538867/VEM-Handb. Prozeßsteuerung

Es werden verbindungsprogrammierte und speicherprogrammierbare binäre Steuerungen zur Automatisierung technologischer Prozesse behandelt. Nach einer knappen Darstellung von Grundlagen der Steuerungstechnik wird die gerätetechnische Basis erläutert (Beispiele aus den Systemen RELOG, TRANSLOG 2, ursalog 4000, 5010, 5020). Ausführungen zur Systemtechnik, zum Aufbau, zur Entwurfsmethodik und technischen Realisierung bis hin zur Inbetriebsetzung von Prozeßsteuerungen bilden den Hauptteil; im Vordergrund steht das neue Automatisierungssystem „VEM-audatec".

Bauelemente der Elektronik

Eigenschaften und Anwendung

Von Ing. Karl-Heinz Rumpf. 13., bearbeitete Auflage. 380 Seiten, 422 Bilder, 42 Tafeln, Leinen, DDR 23,— M, Ausland 30,— DM. Bestellangaben: 5539149/Rumpf, Bauelemente

Mit diesem Buch gibt der Verfasser einen Überblick über Art und Schaltungstechnik der wichtigsten Bauelemente und integrierten Schaltungen. Die Auflage wurde durch einen neuen Abschnitt ergänzt, in dem die zunehmend an Bedeutung gewinnenden Bauelemente für die Oberflächenmontage dargelegt werden.

Halbleiterelektronik Lehrbuch

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Albrecht Möschwitzer und Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Lunze. 8., unveränderte Auflage. 528 Seiten, 552 Bilder, 51 Tafeln, Leinen, DDR 35,— M, Ausland 40,— DM. Bestellangaben: 5536212/Möschwitzer, Lehrbuch

Das Lehrbuch behandelt die physikalischen und elektronischen Grundlagen von Halbleiterbauelementen und integrierten Schaltungen.

Technisches Darstellen

Anleitung zum Selbststudium

Von Prof. Dr. sc. techn. Benno Schmidt. 2., bearbeitete Auflage. Etwa 256 Seiten, 214 Bilder, 57 Tafeln, Broschur, DDR etwa 18,— M, Ausland etwa 24,— DM. Bestellangaben: 5538672/Schmidt, Darstellen

Eine programmierte Einführung in das Technische Zeichnen zum Selbststudium für Studenten an technischen Hoch- und Fachschulen. Eine Vielzahl von Übungsaufgaben und Lösungen vermittelt grundlegende Fertigkeiten und gestattet dem Lernenden, seinen Wissensstand selbständig zu kontrollieren. Ein umfangreicher Anhang mit wichtigen Standardauszügen sichert die Verwendung des Buches als Nachschlagewerk in der täglichen Arbeit.

Im Fachbuchhandel erhältlich

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

msr
messen·steuern·regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik

Herausgeber:
Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

Redaktionsbeirat:
Dr. rer. nat. A. BORGWARDT, Prof. Dr. sc. techn. G. BRACK, Dipl.-Ing. H.-H. EHLERT, Prof. Dr. sc. techn. W. FRITZSCH, Prof. Dr. sc. techn. H. FUCHS, Dr. rer. nat. H. GENA, Dipl.-Ing. H. GOTTSCHALK, Dr.-Ing. K. HILSCHER, Prof. Dr.-Ing. habil. D. HOFMANN, Dr.-Ing. G. MEISTER, Dr.-Ing. J. MÜLLER, Prof. Dr. sc. techn. R. MÜLLER, Prof. Dr. sc. techn. P. NEUMANN, Prof. Dr.-Ing. S. PILZ, Prof. em. Dr. sc. techn. Dr.-Ing. E. h. K. REINISCH, Prof. Dr. sc. techn. W. RICHTER, Dr.-Ing. H. SCHULZE, Prof. Dr. sc. techn. H. TÖPFER, Prof. Dr. sc. oec. G. VIEHWEGER, Prof. Dr. sc. techn. W. WELLER, Prof. Dr. sc. techn. J. WERNSTEDT

Zum Titelbild:

Der allgemeine Aufbau von Expertensystemen ist durch das Zusammenwirken fachgebietsunabhängiger Komponenten zum Problemlösen, zum Wissenserwerb und zur Erklärung der Schlußfolgerungen mit der das Expertenwissen enthaltenden fachspezifischen Wissensbank gekennzeichnet. Zur Realisierung werden Softwareentwicklungswerkzeuge benötigt. Gemäß unserem Titelbild läßt sich deren Auswahl z. B. hinsichtlich Entwicklungsaufwand und Einsatzbereich vornehmen. Lesen Sie dazu unseren Beitrag auf S. 444.

Titelgrafik: G. SCHWESINGER

10
1988

31. Jahrgang
Oktober 1988

ISSN 0026-0347

VEB
VERLAG TECHNIK
BERLIN

Aufsätze

J. Wernstedt
20 Jahre Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik der TH Ilmenau 434

G. Bretthauer und *H.-H. Wilfert*
Identifikation — Stand und Entwicklungsrichtungen 436

D. Trippler, R. Puhlmann und *J. Wernstedt*
DIOPRAN-88 — Programmsystem zur experimentellen Prozeßanalyse 440

V. Krebs
Wissensmodellierung bei Diagnose-Expertensystemen 444

D. Böhme, H.-J. Hoffmeyer-Zlotnik, F. Sokollik, J. Wernstedt und *W. Winkler*
Möglichkeiten und Probleme der operativen Steuerung mit regelbasierenden Beratungssystemen — ein Anwendungsfall aus der keramischen Industrie 447

R. Friedrich, M. Hochhaus und *J. Schütte*
Zur Anwendung von klassischen und Fuzzy-Algorithmen für Aufgaben der Produktionskoordinierung in einem Chemiebetrieb 454

J. Ester und *A.-M. Schiffer*
Interaktives Entscheidungssystem 457

P. Kopacek, I. Troch und *M. Günther*
Steuerungsstrukturen und -algorithmen für Industrieroboter 462

H. Rudolph
CAD/CAM-Arbeitsplatz für Reglerentwurf und -implementierung auf Basis des Arbeitsplatzcomputers A7100 468

Kurzbeiträge 474

Tagungen und Kolloquien 475

Buchbesprechungen 476

Neue Bücher aus der UdSSR 480

Vorschau und Kurzinformationen 3. US

J. Wernstedt

20 Jahre Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik der TH Ilmenau

Im September des Jahres 1968 wurde die Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik (TBK) der TH Ilmenau gegründet. Das sind 20 Jahre Lehre und Forschung in der Technischen Kybernetik/Automatisierungstechnik, der Technischen Informatik und der Biomedizinischen Technik. Das zwanzigjährige Bestehen soll der Anlaß sein, über den Entwicklungsweg und das Profil dieser Sektion kurz zu berichten.

Die unter Leitung von Prof. Dr. sc. techn. KARL REINISCH gegründete Sektion TBK gliederte sich zunächst in die Bereiche Automatische Steuerung (Prof. REINISCH), Informationsverarbeitung (Prof. PILZ), Prozeßmeßtechnik (Prof. MICHELSSON) und Biomedizinische Technik und Bionik (Prof. BLÜTHGEN/Prof. FORTH). Die Grundkonzeption der Sektion, die bis heute tragfähig geblieben ist, umfaßt eine Vielzahl von Aspekten der zielgerichteten Beeinflussung technischer und nichttechnischer Prozesse, d. h. Probleme der Erfassung und Verarbeitung von Informationen über das Verhalten der Systeme sowie die Auswahl bzw. Entwicklung geeigneter gerätetechnischer Realisierungsmöglichkeiten, besonders unter dem Gesichtspunkt des wachsenden Einflusses der Mikroelektronik sowie der Prozeß- und Mikrorechentechnik. Dabei zielen die Bildungs- und Forschungsanstrengungen der Sektion sowohl auf die automatische und automatisierte Steuerung komplexer Produktionsprozesse (Elektrotechnik/Elektronik, Energie-, Verfahrens- und Fertigungstechnik) und nichttechnischer Prozesse (Land-, Wasserwirtschaft, Umweltproblematik) als auch auf die Biomedizinische Technik und Bionik (Erforschung, Beeinflussung und Aufrechterhaltung der Funktionen biologischer Systeme mit den Methoden und technischen Mitteln der Kybernetik und Informatik). Die Ausbildung von 100 DDR-Direktstudenten/Jahr erfolgt in der Fachrichtung „Automatisierungstechnik" mit den Wissenschaftsbereichen entsprechenden Vertiefungsrichtungen.

Bei Gründung der Sektion TBK waren an ihr 4 Professoren, 2 Dozenten, 35 wissenschaftliche Mitarbeiter und 26 technische Mitarbeiter tätig.

Heute wird die Lehr- und Forschungsarbeit der Sektion von 8 Professoren, 9 Dozenten, 78 wissenschaftlichen Mitarbeitern und 66 technischen Mitarbeitern getragen. An der Sektion wurden in den letzten zwanzig Jahren 1725 Diplome an DDR-Direktstudenten, 330 Diplome an Fernstudenten und 329 Diplome an ausländische Studenten aus 24 Ländern vergeben.

In diesem Zeitraum absolvierten 64 Studenten der Sektion ein Teilstudium an Partnerhochschulen des Auslandes, insbesondere am Moskauer Energetischen Institut (MEI). Im postgradualen Studium „Mikroprozessortechnik" haben 350 Studenten das Zeugnis des Fachingenieurs erhalten und das Forschungsstudium wurde von 147 Studenten erfolgreich abgeschlossen. Weiterhin wurden in diesem Zeitraum 301 Promotionen A und 34 Promotionen B von Mitarbeitern und Aspiranten verteidigt.

Das Ausbildungsprofil der Sektion TBK ist für die Studenten aller Wissenschaftsbereiche durch die gemeinsamen Veranstaltungen der Fachrichtung Automatisierungstechnik bestimmt. Dazu gehören Vorlesungen, Übungen und Praktika zu den Gebieten „Technische Informatik", „Algorithmen und Programmierung" und „Systemanalyse/Kybernetik" in der Grundlagenausbildung sowie „Logische Programmierung", „Digitale Automaten", „Automatische Steuerung", „Prozeßmeßtechnik", „Schaltungstechnik", „Mikroprozessortechnik" und „Prozeßanalyse" im Rahmen der Fachrichtungsausbildung.

Darauf basieren die Ausbildung im Vertiefungsprogramm der Wissenschaftsbereiche, die selbständige wissenschaftliche Arbeit, das Ingenieurpraktikum und schließlich die Diplomarbeit. An der Sektion TBK ist das Studium in folgenden Vertiefungsrichtungen möglich:

- Prozeßmeß- und Sensortechnik
- Computertechnik/Technische Informatik
- Prozeßautomatisierung/Systemtechnik
- Biomedizinische Technik und Bionik.

Diese zukunftsorientierte Profilierung stellt als Ergebnis der Verwirklichung des Politbürobeschlusses vom 28. Juni 1983 zur Aus- und Weiterbildung von Ingenieuren und Ökonomen einen wichtigen Beitrag zur Versorgung der Volkswirtschaft mit dringend benötigten Absolventen dar.

Das Profil der Lehre der Sektion TBK ist damit an den zeitgemäßen Anforderungen der Volkswirtschaft (Industrie, Medizin, Landwirtschaft und Wasserwirtschaft) sowie an denen von Akademien, Universitäten und Hochschulen selbst orientiert. Ausgehend von den klassischen Konzepten der Regelungs-/Steuerungstechnik, der Meßtechnik, der maschinellen Rechentechnik und der Medizintechnik wurde die integrierende Rolle der Kybernetik genutzt, um moderne Wissenschaftsbereiche herauszubilden.

Im Wissenschaftsbereich **Prozeßmeß- und Sensortechnik** (Leiter: Prof. Dr. sc. techn. GERT JÄGER) wird in Weiterentwicklung der klassischen Meßtechnik die Abbildung der zu messenden, meist nichtelektrischen Größen auf automatisch verarbeitbare elektrische Ausgangssignale sowie die Beschreibung und Optimierung des dynamischen und statischen Verhaltens der Meßmittel als integraler Bestandteil von automatisierten Systemen untersucht. Bei der Sensortechnik stehen die Entwicklung, die konstruktive Gestaltung sowie die Fertigungstechnologie von Sensoren im Vordergrund. Am Wissenschaftsbereich werden auf der Basis solcher Hochtechnologien, wie Laser- und Lichtwellenleitertechnik, Optoelektronik und Computertechnik, neue Sensorgenerationen entwickelt.

Dabei bildet die langjährige Forschungsarbeit zur direkten digitalen interferenzoptischen Lasermeßtechnik für hochauflösende Meßsysteme (Masse, Länge) einen weltstandsbestimmenden Anteil. Die Verbindung von physikalisch hochentwickelten Sensorprinzipien mit einer hochspezialisierten Mikrorechnersteuerung und Meßwertverarbeitung ist die Grundlage dieser Forschungsarbeit. Wesentlich sind aber auch theoretische und praktische Leistungen zur Temperatur- und Feuchtemeßtechnik.

Im Wissenschaftsbereich **Technische Informatik** (Leiter: Prof. Dr. sc. techn. WERNER LIEBICH) werden Grundlagen und Anwendungs-

---

Prof. Dr. sc. techn. JÜRGEN WERNSTEDT (48) studierte von 1958 bis 1964 Regelungstechnik an der Hochschule für Elektrotechnik (später TH) Ilmenau. Von 1964 bis 1972 dort wissenschaftlicher Assistent. 1969 Promotion A. Von 1972 bis 1983 Hochschuldozent für das Gebiet Experimentelle Prozeßanalyse an der Sektion TBK der TH Ilmenau. 1979 Promotion B. Von 1983 bis 1985 Projektleiter Prozeßführung im VEB Mikroelektronik „Karl Marx" Erfurt. 1985 Berufung zum o. Professor für Systemanalyse der TH Ilmenau. Seit 1987 Direktor der Sektion TBK. Leiter des FA „Beratungs-/Expertensysteme in der Automatisierungstechnik" der WGMA. Korrespondierendes Mitglied der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR.

gebiete des genannten Wissenschaftsgebietes untersucht und weiterentwickelt. Ausgewählte Schwerpunkte bilden dabei Theorie und Anwendung digitaler Automaten, Entwurfsverfahren und Sprachen für Steuerungen sowie die Methodik der Programmierung und der Dialoggestaltung in komplexen Programmsystemen. Entsprechend der internationalen Entwicklung und den realen Erfordernissen in Forschungs- und Industrieeinrichtungen der DDR werden in diesem Wissenschaftsbereich schwerpunktmäßig Probleme der künstlichen Intelligenz und wissensverarbeitender Systeme bearbeitet. Im Wissenschaftsbereich **Computertechnik** (Leiter: Prof. Dr. sc. phil. Dr.-Ing. MICHAEL ROTH) vereinigen sich Arbeiten zum Rechnerentwurf und zur Rechneranwendung in technischen Prozessen mit dem Ziel, dem Nutzer optimale Hilfsmittel zur Lösung seines speziellen Anwenderproblems in die Hand zu geben. Beschreibungs- und Entwicklungshilfsmittel für Mikroprozessorgeräte sind zentrale Themen der wissenschaftlichen Arbeiten. Das schließt Hardware-Entwurfshilfen, wie Tester, Simulatoren/Emulatoren und Entwicklungssysteme, genauso ein wie Softwarepakete, die einen anwendernahen Entwurf ermöglichen. Eine zunehmende Bedeutung gewinnen Entwurfs- und Test-Expertensysteme. Eine Besonderheit in der DDR ist die Untersuchung des Verhältnisses von Computer und Gesellschaft als soziales und philosophisches Problem.

Als volkswirtschaftlich anerkannte Leistungen kann man den Mikrocomputer MC 80, das modulare Einchip-Mikrorechnersystem MMS 881 und das Entwicklungssystem UNES nennen.

Im Wissenschaftsbereich **Automatische Steuerung** (Leiter: Prof. Dr.-Ing. MANFRED GÜNTHER) werden in Lehre und Forschung durch zwei Fachbereiche die Gebiete Prozeßautomatisierung und Systemtechnik vertreten.

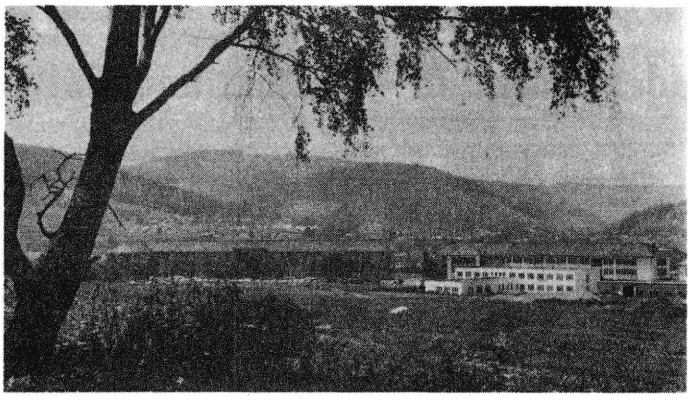
Im Fachbereich *Prozeßautomatisierung* (Prof. Dr.-Ing. MANFRED GÜNTHER) stehen der Entwurf und die Realisierung rechnergestützter, prozeßnaher Automatisierungslösungen und der rechnergestützte Entwurf und die Projektierung von modernen Automatisierungsgeräten und -anlagen im Mittelpunkt der Arbeit. Eine besondere Rolle spielen dabei digitale Regelungen für verschiedene Anwendungsbereiche, z. B. in der Robotertechnik und in wasserwirtschaftlichen sowie haustechnischen Prozessen.

Die Anwendung von Methoden der Modellerstellung von Signalen und Systemen zur Ermittlung von optimalen Vorschlägen und Strategien für den Entwurf, die Steuerung bzw. Führung und die Planung von komplexen Prozessen in technischen und nichttechnischen Bereichen ist Schwerpunkt des Fachbereiches *Systemtechnik* (Prof. Dr. sc. techn. JÜRGEN WERNSTEDT).

Als wesentliche Forschungslinien des Fachbereiches haben sich die Anwendung von Methoden der optimalen hierarchischen Steuerung und der Entwurf und die Realisierung von Beratungs-/Expertensystemen als Entscheidungshilfen für den Menschen zur Lösung von Entwurfs-, Diagnose-, Überwachungs-, Steuerungs- und Planungsaufgaben in automatisierten Prozessen herausgebildet. Zu den national und international anerkannten Leistungen gehören die Ergebnisse zur Steuerung des Wachstums von Kulturen in Gewächshäusern, der Entwurf und die Steuerung von Wasserversorgungssystemen, das Prozeßführungssystem PROFIS zur Herstellung hochintegrierter Schaltkreise, das Beratungssystem WERRA zur Hochwasservorhersage und -steuerung in Flußgebieten und das Beratungssystem GLUCON zur Glukoseführung des Menschen.

Der Wissenschaftsbereich **Biomedizinische Technik und Bionik** (Leiter: Prof. Dr. sc. techn. GÜNTHER HENNING) verkörpert in der Sektion TBK ein Wissenschaftsgebiet, daß in sehr hohem Maße interdisziplinär auf dem Grenzgebiet zwischen technischen Wissenschaften, Medizin und Biologie arbeitet. Die Ausbildung von Klinikingenieuren und die Forschung auf dem Gebiet der Biomedizintechnik gehören ebenso zum Profil des Bereiches wie wissenschaftliche Arbeiten im Rahmen der biomedizinischen Informatik, der Biokybernetik und Bionik.

Mit modernen technischen Hilfsmitteln werden Konzepte und Methoden der Ingenieurwissenschaften auf das Studium medizinischer und biologischer Objekte sowie die Erforschung, den Entwurf und den Bau von Systemen für die medizinische Diagnostik, Therapie und Forschung angewandt. Im Wissenschaftsbereich dominieren solche bedeutsamen Themen, wie die objektive Perimetrie,



die Bioimpedanzmeßtechnik, die Sinnesanalysenmeßtechnik am Auge, die Blutzuckerbestimmung und (automatische) -steuerung, die Röntgenfunktionsdiagnostik, die Selbstorganisation und das elementare kognitive Lernen in neuronalen Systemen sowie biomedizinische Diagnose-Expertensysteme.

Bei der Erfüllung der Aufgaben in Lehre und Forschung werden die Wissenschaftsbereiche der Sektion durch einen leistungsfähigen Bereich **Organisation und Technik** (Leiter: Ing. DIETER PESCHKE) unterstützt. Mit moderner Technik ausgestattete mechanische und elektronische Werkstätten, Labors und das Zeichenbüro sind Basis für die guten Ergebnisse der Sektion im wissenschaftlichen Gerätebau, in der Nachnutzung wissenschaftlich-technischer Ergebnisse und bei der Produktionsüberführung der Grundlagenforschung.

Im Rahmen der DDR arbeiten Hochschullehrer und Mitarbeiter der Sektion sehr aktiv in der WGMA, der Gesellschaft für Informatik und der Gesellschaft für Biomedizinische Technik und Informationsverarbeitung der DDR sowie in Gremien der Akademie der Wissenschaften der DDR und der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR mit. Wesentliche Forschungskapazitäten der Grundlagenforschung sind in den Hauptforschungsrichtungen Kybernetik und Biokybernetik abgestimmt und gebunden worden.

Im Rahmen der vertraglichen internationalen Zusammenarbeit haben sich seit dem Bestehen der Sektion sehr stabile Beziehungen zu Einrichtungen in der Sowjetunion, der VR Polen, der VR Bulgarien, der Ungarischen VR, der ČSSR, der Republik Österreich, des Königreiches Niederlande und der Republik Griechenland herausgebildet. Fruchtbare langjährige Kontakte bestehen ebenfalls zu Hochschulen und Einrichtungen der Bundesrepublik Deutschland. Internationale Anerkennung hat sich die Sektion durch eine langjährige Mitarbeit in Gremien des RGW, der IFAC und durch die Teilnahme an Kongressen und Symposien erworben. So sind z. B. die Arbeit von Prof. REINISCH im Rat der IFAC bis 1987, die Mitarbeit von Prof. GÜNTHER im IFAC-TC Education, von Prof. WERNSTEDT im IFAC-TC Large Scale Agricultural, Forest and Environmental Systems und von Doz. Dr.-Ing. F. BERNHARD im IMEKO-TC Temperature and Thermal Measurement für die Arbeit der WGMA sehr befruchtend und nützlich.

Besonderes nationales und internationales Ansehen hat sich die Sektion TBK durch die Ausrichtung der in dreijährigem Abstand stattfindenden Internationalen Wissenschaftlichen Kolloquien (IWK) zu Problemen der Prozeßmeß- und Sensortechnik, Technischen Informatik/Computertechnik, Prozeßautomatisierung/Systemtechnik und Biomedizinische Technik/Biokybernetik erworben. Aus dem umfangreichen Programm des in diesem Jahr stattfindenden 33. IWK der TH Ilmenau sind die Beiträge dieses Heftes der msr ausgewählt worden.

20 Jahre Sektion TBK der TH Ilmenau bedeuten 20 Jahre Lehre und Forschung auf volkswirtschaftlich wichtigen Gebieten unserer Gesellschaft. Die Studenten und Mitarbeiter der Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik der TH Ilmenau werden auf der Basis des Erreichten auch in Zukunft die Entwicklung der Gebiete der Technischen Kybernetik, der Automatisierungstechnik, der Technischen Informatik und der Biomedizinischen Technik aktiv mitgestalten.

msr 8922

G. Bretthauer, H.-H. Wilfert

Identifikation — Stand und Entwicklungsrichtungen

0. Einleitung

Für die Lösung einer Vielzahl von Problemen in der Naturwissenschaft und der Technik ist es oftmals notwendig, ein mathematisches Modell für den untersuchten Prozeß zu erstellen, das die jeweils interessierenden Eigenschaften des Prozesses genügend genau beschreibt. Mit Prozeß werden dabei das System und die daran angreifenden Signale bezeichnet.
Zur Ermittlung eines solchen Modells existieren bekanntlich zwei Wege:

— die theoretische Prozeßanalyse
— die experimentelle Prozeßanalyse.

In diesem Beitrag wird nur der zweite Weg betrachtet. Dafür wird in der Literatur häufiger der Begriff „Identifikation" verwendet.
Nach [1] ist die Identifikation wie folgt definiert:

„Identifikation ist die Ermittlung eines Modells aus einer vorgegebenen Klasse von Modellen auf der Grundlage von Messungen der Eingangs- und Ausgangssignale, wobei das erhaltene Modell unter Testbedingungen dem untersuchten Prozeß äquivalent ist".

Hiernach ist jedes Identifikationsproblem durch drei Kenngrößen charakterisiert:

- die ausgewählte Modellklasse
- das verwendete Gütekriterium bzw. Verfahren, mit dem das „beste" Modell innerhalb der Modellklasse ermittelt wird
- die vorgegebenen experimentellen Bedingungen, unter denen die Identifikation durchgeführt wird.

Das Ziel des Beitrags besteht darin, anhand der drei Kenngrößen

— den Entwicklungsstand auf dem Gebiet der Identifikation einzuschätzen
— wichtige Entwicklungsrichtungen abzuleiten.

Dazu werden im ersten Abschnitt die drei Kenngrößen näher beschrieben. Danach werden im zweiten Abschnitt verschiedene Entwicklungsetappen betrachtet, die dadurch gekennzeichnet sind, daß wesentliche Unterschiede in den einzelnen Kenngrößen vorhanden sind. Diese Entwicklungsetappen bilden die Grundlage für die Einschätzung des Entwicklungsstandes. Abschließend werden dann drei verschiedene Entwicklungsrichtungen vorgestellt.

1. Beschreibung der Kenngrößen

Die *erste* Kenngröße eines jeden Identifikationsproblems ist die ausgewählte Modellklasse. Sie enthält die jeweils interessierenden Eigenschaften des untersuchten Prozesses in einer geeigneten mathematischen Beschreibungsform. In der Tafel 1 sind die wichtigsten Eigenschaften technischer und nichttechnischer Prozesse sowie die möglichen Beschreibungsformen zusammengestellt.

Tafel 1. Prozeßeigenschaften und Beschreibungsformen von Modellen

Prozeßeigenschaften:	
statisch	dynamisch
einvariabel	mehrvariabel
linear	nichtlinear
konzentrierte	verteilte Parameter
zeitinvariante	zeitvariante Parameter
kontinuierliche	diskontinuierliche Arbeitsweise
Beschreibungsformen:	
Eingangs-/Ausgangs-darstellung	Zustandsraumdarstellung
Zeitbereichsdarstellung	Frequenzbereichsdarstellung
parametrische	nichtparametrische Darstellung

Tafel 2. Einteilung der Verfahren

determiniert	statistisch	unscharf
off line	on line	
nichtparametrisch	parametrisch	
nichtrekursiv	rekursiv	
direkt	iterativ	

Tafel 3. Wesentliche experimentelle Bedingungen

offener	geschlossener Regelkreis	
Off-line-	On-line-Betrieb	
determinierte	pseudostochastische	stochastische Test-signale

Zu einem konkreten Prozeß gehört immer eine bestimmte Kombination der obigen Prozeßeigenschaften, z. B.:
dynamisch, einvariabel, linear, konzentrierte Parameter, zeitinvariante Parameter, diskontinuierliche Arbeitsweise.
Aufgrund der großen Mannigfaltigkeit von Prozessen existieren die verschiedensten Kombinationen von Prozeßeigenschaften. Daraus resultieren die unterschiedlichsten Modellklassen. Die jeweils verwendete mathematische Modellform ist zunächst einmal frei wählbar. Sie wird jedoch i. allg. durch den späteren Verwendungszweck des Modells festgelegt.
Die *zweite* Kenngröße ist das angewandte Verfahren, mit dem das „beste" Modell innerhalb der Modellklasse ausgewählt wird. In Abhängigkeit von der Modellklasse und den experimentellen Bedingungen existieren zahlreiche Verfahren. Sie sind in der Tafel 2 — nach der Vorgehensweise bei der Auswertung der gemessenen Daten geordnet — zusammengestellt.
Eine genaue Beschreibung der einzelnen Verfahren ist z. B. in [2] zu finden.
Die *dritte* Kenngröße sind die experimentellen Bedingungen, unter denen die Identifikation durchgeführt wird. Diese sind teilweise fest vorgegeben, z. B. Durchführung der Messungen nur im geschlossenen Regelkreis, oder sie sind frei wählbar, z. B. Anwendung von determinierten oder pseudostochastischen Testsignalen. In der Tafel 3 sind verschiedene experimentelle Bedingungen zusammengestellt, die einen großen Einfluß auf die Meßbedingungen haben.
Aus den jeweils vorliegenden experimentellen Bedingungen resultieren bestimmte Anforderungen an die Modellklasse und die Verfahren.
Die aufgeführten drei Kenngrößen stehen immer in einem engen Zusammenhang miteinander. Durch die Festlegung einer Kenngröße werden auch meist die zwei anderen beeinflußt.

Dr. sc. techn. GEORG BRETTHAUER (42) erlernte den Beruf des Maschinenbauers und studierte von 1965 bis 1970 Regelungstechnik an der TU Dresden. Seit 1970 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR, Institutsteil Dresden. 1977 Promotion A, 1983 Promotion B, beides an der TU Dresden.

Prof. Dr. sc. techn. HANS-HELMUT WILFERT (52) studierte von 1954 bis 1960 Elektrotechnik an der TH Dresden. Anschließend bis 1963 am Institut für Regelungstechnik der TU Dresden tätig. Seit 1963 Mitarbeiter am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR, Institutsteil Dresden, dort wissenschaftlicher Abteilungsleiter. 1963 Promotion A, 1971 Promotion B, beides an der TU Dresden. 1988 Ernennung zum Akademie-Professor.

2. Entwicklungsstand

Anhand der im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen drei Kenngrößen wird nun der Entwicklungsstand auf diesem Fachgebiet eingeschätzt. Dazu werden drei Entwicklungsetappen vorgestellt, die dadurch charakterisiert sind, daß wesentliche Änderungen in den einzelnen Kenngrößen vorhanden sind. Zu jeder Entwicklungsetappe werden aus den Tafeln 1 bis 3 die wichtigsten Merkmale der einzelnen Kenngrößen angegeben. Hierbei handelt es sich immer um den jeweiligen Haupttrend. Außerdem werden die dabei aufgetretenen Probleme beschrieben und einige bedeutungsvolle Literaturstellen genannt.

2.1. Erste Entwicklungsetappe

Die erste Entwicklungsetappe reicht von etwa 1960 bis 1970. Sie ist durch die Untersuchung einfacher Prozesse im offenen Regelkreis gekennzeichnet und stellt den Beginn der Entwicklung auf diesem Fachgebiet dar. Die betrachteten Prozesse waren zunächst ungestörte Prozesse, später dann stochastisch gestörte Prozesse (s. Bilder 1 und 2).
Die dazugehörenden Modellklassen waren durch die folgenden Prozeßeigenschaften gekennzeichnet:

dynamisch, linear, einvariabel, konzentrierte Parameter, zeitinvariante Parameter, kontinuierliche Arbeitsweise.

Als Beschreibungsformen wurden vor allem die *nichtparametrischen Eingangs-/Ausgangsdarstellungen* sowohl im Zeit- als auch im Frequenzbereich verwendet. Dies waren die einfachsten Modellklassen, die untersucht werden konnten.
Für die experimentellen Bedingungen waren charakteristisch:

offener Regelkreis, Off-line-Betrieb, Anwendung determinierter, pseudostochastischer und stochastischer Eingangs- bzw. Testsignale.

Die Verfahren waren:

determiniert, nichtrekursiv, nichtparametrisch, direkt.

In der ersten Etappe dominierten die *Zeitfunktionsanalyse*, die *Korrelationsanalyse* und die *Spektralanalyse*. Die Ermittlung der Gewichtsfunktion, der Übergangsfunktion und des Frequenzganges standen hier im Mittelpunkt der Untersuchungen.
Die wichtigsten Probleme bestanden in der Bestimmung der erreichten Genauigkeit bei beschränkter Meßzeit und bei Vorhandensein kleiner stochastischer Störungen sowie in der Gestaltung günstiger Testsignale für die Identifikation.
Hierzu existieren zahlreiche Veröffentlichungen und Bücher. Von ihnen seien an dieser Stelle nur die Bücher [3] bis [5] sowie die Übersichtsarbeit [2] genannt.

2.2. Zweite Entwicklungsetappe

Die zweite Entwicklungsetappe umfaßt den Zeitraum von etwa 1970 bis 1975. Sie ist durch den verstärkten Einsatz der modernen Rechentechnik zur Lösung von Identifikationsaufgaben und die Untersuchung einfacher Prozesse im geschlossenen Regelkreis gekennzeichnet. Die Anwendung der Digitalrechner führte hier zur Betrachtung einer neuen Modellklasse und zur Entwicklung neuer Verfahren. Es begann die Epoche der *Parameterschätzverfahren*.
Untersucht wurden vor allem stochastisch gestörte Prozesse im offenen und im geschlossenen Regelkreis (s. Bilder 2 und 3).
Die betrachtete Modellklasse war gekennzeichnet durch:

diskontinuierliche Arbeitsweise, dynamisch, linear, einvariabel, konzentrierte Parameter, zeitinvariante Parameter.

Als Beschreibungsform wurde die *parametrische Eingangs-/Ausgangsdarstellung* im Zeitbereich verwendet.
Die experimentellen Bedingungen waren:

offener und geschlossener Regelkreis, On-line-Betrieb, Anwendung stochastischer Testsignale.

Die Verfahren waren:

statistisch, rekursiv, parametrisch.

Bild 1. Ungestörtes System

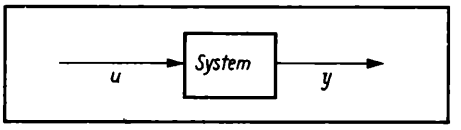


Bild 2. Gestörtes System

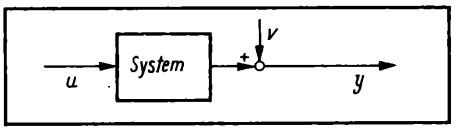
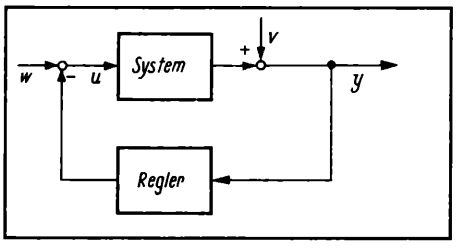


Bild 3. Regelkreis



Es wurden die verschiedensten Parameterschätzverfahren entwickelt und erprobt. Am meisten untersucht wurden die Methode der kleinsten Fehlerquadrate, die Hilfsvariablenmethode und die Maximum-Likelihood-Methode.
Für den geschlossenen Regelkreis wurden

- die indirekte Methode
- die direkte Methode
- die Korrelationsmethode
- die Verbundprozeßmethode

entwickelt.
Die wesentlichen Probleme bestanden im Nachweis der Konvergenz der einzelnen Parameterschätzverfahren für die verschiedensten experimentellen Bedingungen, in der Ermittlung der Struktur der Differenzengleichung und im Nachweis der Identifizierbarkeit im geschlossenen Regelkreis.
Auch hierüber existieren sehr viele Veröffentlichungen und eine Reihe von Büchern, z. B. [6] bis [11], in denen die Parameterschätzverfahren umfassend behandelt werden.
Die Probleme bei der Identifikation im geschlossenen Regelkreis sind z. B. in [12] beschrieben.

2.3. Dritte Entwicklungsetappe

Die dritte Entwicklungsetappe begann etwa 1975 und reicht bis in die Gegenwart. Sie ist durch die Untersuchung von Mehrgrößensystemen (s. Bild 4), von komplexen Systemen und von großen Systemen (s. Bild 5) sowie den Aufbau und die Erprobung von Programmpaketen gekennzeichnet.
Die Modellklassen sind charakterisiert durch die folgenden Prozeßeigenschaften:

ein- und mehrvariabel, linear, konzentrierte Parameter, zeitinvariante Parameter, kontinuierliche oder diskontinuierliche Arbeitsweise.

Als Beschreibungsformen werden verwendet:

Zustandsraumbeschreibung, Eingangs-/Ausgangsbeschreibung im Zeit- und im Frequenzbereich für parametrische und nichtparametrische Modelle.

Für die experimentellen Bedingungen gilt:

geschlossener Regelkreis, On-line-Betrieb, Anwendung determinierter, pseudostochastischer und stochastischer Eingangs- bzw. Testsignale.

Es kommen alle bekannten Verfahren in Betracht. Untersucht wurde bisher die Anwendung verschiedener *Parameterschätzverfahren*, der *Korrelationsanalyse* und der *Spektralanalyse*. Bei den mehrvariablen Prozessen wurden damit gute Ergebnisse erzielt.
Den Schwerpunkt der Untersuchungen bildet die Identifikation von mehrvariablen Prozessen, da sie die Grundbausteine der großen Systeme sind. Beim Übergang von den einvariablen zu den mehrvariablen Prozessen tritt dabei das Problem auf, daß zur Beschreibung des Prozesses in einer parametrischen Form nicht mehr ein

Strukturparameter sondern **mehrere** benötigt werden. Diese lassen sich aus Eingangs-/Ausgangsmessungen nicht mehr eindeutig ermitteln. Die Kenntnis dieser Strukturparameter ist aber für die Anwendung der Parameterschätzverfahren notwendig [2].
Neben dem bisher nicht gelösten „Strukturproblem" sind als weitere wichtige Probleme die Abschätzung der Genauigkeit der erhaltenen Modelle, die Gestaltung der Meßbedingungen und der Nachweis der Identifizierbarkeit von Teilsystemen im geschlossenen Mehrgrößenregelkreis zu nennen. Dazu sind zahlreiche Untersuchungsergebnisse bekannt [13] bis [15]. Für die großen Systeme liegen bisher nur Einzelergebnisse für ganz bestimmte Konfigurationen vor [16] bis [19].
Neben der Betrachtung komplizierter Prozesse ist diese dritte Etappe auch durch den Aufbau zahlreicher Programmpakete gekennzeichnet, die sowohl für den industriellen Einsatz als auch für die Lehre angewendet werden. In [20] sind mehrere solcher Programmpakete beschrieben.
Anhand dieser drei Entwicklungsetappen läßt sich die folgende **Gesamteinschätzung** ableiten: Für statische und dynamische, lineare, ein- und mehrvariable, zeitinvariante Prozesse mit konzentrierten Parametern und kontinuierlicher sowie diskontinuierlicher Arbeitsweise existieren sowohl für die *Eingangs-/Ausgangsdarstellung* als auch für die *Zustandsraumdarstellung* leistungsfähige Verfahren zur Ermittlung parametrischer und nichtparametrischer Modelle für den offenen und den geschlossenen Regelkreis. Hierfür sind international und national zahlreiche Programmpakete vorhanden, die die Modellbildung für technische und nichttechnische Prozesse unterstützen.

3. Entwicklungsrichtungen

Auf der Grundlage der im vorhergehenden Abschnitt gegebenen Einschätzung des Entwicklungsstandes werden nun drei wichtige Entwicklungsrichtungen abgeleitet. Es handelt sich dabei um

— die Betrachtung komplizierterer Prozeßklassen
— die Behandlung „neuer" Aufgabenklassen
— den Aufbau von Beratungs-/Expertensystemen.

Diese drei Richtungen werden im folgenden kurz beschrieben.

3.1. Untersuchung komplizierterer Prozeßklassen

Ein Vergleich der bisher verwendeten Prozeßklassen mit den in der Tafel 1 enthaltenen Prozeßeigenschaften zeigt, daß der Hauptschwerpunkt der Untersuchungen auf den Eigenschaften *linear*, *konzentrierte Parameter und zeitinvariante Parameter* lag. Die Ursachen dafür liegen darin, daß deren mathematische Beschreibung sehr einfach ist (lineare Differential- bzw. Differenzengleichungen mit konstanten Parametern) und daß bei einfachen Prozessen eine Approximation durch diese Eigenschaften gerechtfertigt ist.
Vor allem bei großen Systemen, die aus zahlreichen Teilsystemen bestehen, ist dies jedoch nicht mehr der Fall. Hier sind die Eigenschaften *nichtlinear*, *zeitvariante Parameter und verteilte Parameter* zu berücksichtigen. Das erfordert aber die Behandlung von nichtlinearen Differentialgleichungen mit zeitvarianten Parametern und partiellen Differentialgleichungen. Hierfür existiert keine geschlossene Theorie wie bei den linearen Differentialgleichungen. Die mathematische Behandlung ist ungleich schwieriger. Trotzdem werden gerade auf diesem Gebiet in der letzten Zeit große Anstrengungen unternommen. Von den entsprechenden Veröffentlichungen seien hier nur die Arbeiten [21] bis [24] genannt.

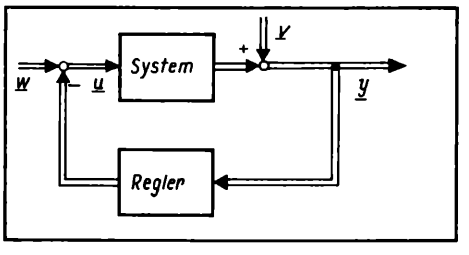


Bild 4. Mehrgrößenregelkreis

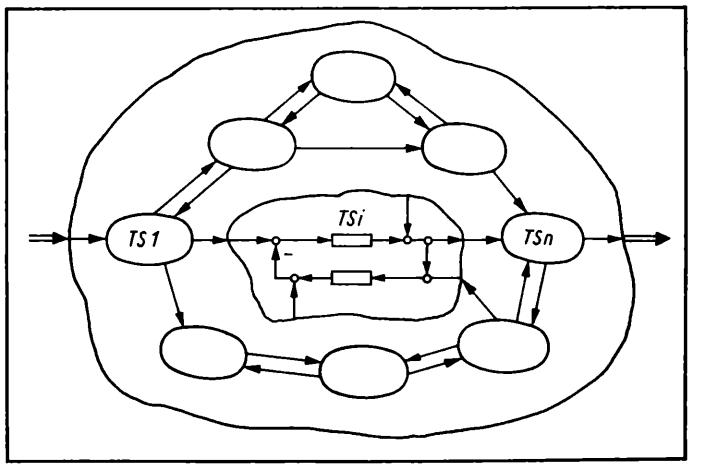


Bild 5. Großes System
TSi *i*-tes Teilsystem

3.2. Behandlung „neuer" Aufgabenklassen

Bisher wurden die erstellten Modelle im wesentlichen nur für den Entwurf von Reglern bzw. zur Verbesserung bereits vorhandener Modelle verwendet. Neben diesen zwei Verwendungszwecken existieren weitere. Dazu zählen die Anwendung von Modellen für

— das bessere Verstehen der im Prozeß ablaufenden Wirkungsmechanismen
— die Vorhersage wichtiger System- und Signalparameter
— die Ermittlung nicht direkt meßbarer Signale
— die Optimierung sowie Koordinierung des statischen und dynamischen Verhaltens einer oder mehrerer Ebenen eines hierarchisch strukturierten Systems.

Die Ermittlung von Modellen für diese Verwendungszwecke gewinnt immer mehr an Bedeutung. Während bisher die *Prozeßsicherung* (Entwurf von Reglern) im Mittelpunkt stand, sind das jetzt mehr die *Prozeßüberwachung* und die *operative Lenkung* von Prozessen. Dies ist mit der Behandlung „neuer" Aufgabenklassen gemeint. Die Anführungsstriche wurden hier verwendet, weil auch früher bereits solche Probleme betrachtet wurden, aber nicht mit der Intensität, wie das gegenwärtig der Fall ist.
Die Ermittlung von Modellen zum besseren Verstehen der inneren Wirkungsmechanismen ist vor allem bei nichttechnischen Prozessen, wie biologischen oder biotechnischen Prozessen, anzutreffen. Hier geht es darum, die Kenntnisse über den Prozeß zu verbessern. Beispiele dafür sind in [25] bis [28] zu finden.
Wesentliche Probleme sind dabei:

- die Nichtmeßbarkeit der tatsächlichen Eingangs- und Ausgangssignale des untersuchten Prozesses
- die Interpretierbarkeit der Modellparameter
- die Gestaltung der experimentellen Bedingungen.

Gerade durch die Untersuchung nichttechnischer Prozesse ist in der letzten Zeit die Entwicklung auf dem Gebiet der Identifikation vorangetrieben worden.
Bei den technischen Prozessen steht die Ermittlung von Modellen für die Vorhersage wichtiger System- und Signalparameter im Mittelpunkt. Dabei geht es vor allem um die Erkennung plötzlicher Änderungen in den Parametern, um Betriebsstörungen, Havarien und dergleichen vermeiden zu können. Hier lassen sich vorteilhaft Verfahren der experimentellen und der theoretischen Prozeßanalyse anwenden [29] bis [31].
Wesentliche Probleme sind hier:

- die Datenaufbereitung
- die Abschätzung der Genauigkeit der verwendeten Vorhersagemodelle.

3.3. Aufbau von Beratungs-/Expertensystemen

Im Abschn. 2. wurde darauf hingewiesen, daß bei mehrvariablen Prozessen das Strukturproblem noch nicht gelöst ist. Hierbei handelt es sich um ein „diffuses" Gebiet, das dadurch charakterisiert ist, daß

— keine einheitliche Theorie existiert

— der Erwerb von Kompetenz extrem teuer ist
— die Qualität der Kompetenz schwer beurteilbar ist
— die Anwendung von Sachverhalten und Fertigkeiten erheblich schwieriger als in den wohlstrukturierten Gebieten ist
— die Entwicklung hier sehr langsam verläuft.

Auf solchen Gebieten ist es zweckmäßig, Beratungssysteme bzw. Expertensysteme aufzubauen. Bezüglich der Terminologie wird hier die Begriffsbestimmung aus [32] bzw. [33] verwendet.
Bei der Modellbildung in großen Systemen treten ebenfalls solche diffusen Gebiete auf, und zwar

- bei der Überprüfung der A-priori-Identifizierbarkeit einzelner Teilsysteme
- bei der Ableitung von Identifikationsstrategien für die Teilsystem- und die Störsignalidentifikation.

Bei der A-priori-Identifizierbarkeit geht es darum, vor der Durchführung der Identifikationsexperimente den Nachweis zu erbringen, daß aus den Meßsignalen tatsächlich das unbekannte Teilsystem eindeutig bestimmbar ist. Aufgrund der Korreliertheit der Signale in großen Systemen ist dies nicht immer der Fall. Hier sind besondere Identifizierbarkeitsbedingungen zu beachten [34]. Das erfordert die Auflösung komplizierter Matrizengleichungssysteme, was zweckmäßig mit einem Formelmanipulationssystem erfolgen kann.
Da i. allg. in großen Systemen mehr als ein Teilsystem und alle Störsignale unbekannt sind, ist es nicht möglich, sie alle mit einem Schritt und mit einer Identifikationsmethode zu ermitteln. Die Festlegung der einzelnen Schritte und der in jedem Schritt anzuwendenden Identifikationsmethode wird als Identifikationsstrategie bezeichnet. Aufgrund der Freiheiten in den experimentellen Bedingungen existieren im Normalfall stets mehrere solcher Strategien, so daß eine günstige auszuwählen ist [35]. Wenn sehr viele Teilsysteme und Störsignale zu identifizieren sind, dann ist auch hier der Aufbau eines entsprechenden Beratungs-/Expertensystems sinnvoll. Eine ausführliche Beschreibung dieser Problematik erfolgt in [36].
Die in diesem Abschnitt skizzierten drei Entwicklungsrichtungen stellen wesentliche Forschungsschwerpunkte auf dem Gebiet der Identifikation technischer und nichttechnischer Prozesse für die kommenden Jahre dar.

Literatur

[1] Zadeh, L. A.: From circuit theory to system theory. Proc. IRE 50 (1962), pp. 856—865.
[2] Aström, K. J.; Eykhoff, P.: System identification. A survey. Automatica 7 (1971), pp. 123—162.
[3] Strobel, H.: Systemanalyse mit determinierten Testsignalen. Berlin: VEB Verlag Technik 1968.
[4] Wilfert, H.-H.: Signal- und Frequenzganganalyse an stark gestörten Systemen. Berlin: VEB Verlag Technik 1969.
[5] Isermann, R.: Experimentelle Analyse der Dynamik von Regelsystemen. Identifikation I. Mannheim: Hochschultaschenbücher-Verlag 1971.
[6] Isermann, R.: Prozeßidentifikation. Berlin: Springer-Verlag 1974.
[7] Unbehauen, H.; Göring, B.; Bauer, B.: Parameterschätzverfahren zur Systemidentifikation. München: R. Oldenbourg Verlag 1974.
[8] Eykhoff, P.: System parameter and state estimation. London: J. Wiley & Sons 1974.
[9] Strobel, H.: Experimentelle Systemanalyse. Berlin: Akademie-Verlag 1975.
[10] Wede, J.; Werner, D.: Echtzeitprozeßmodelle auf der Basis von Parameterschätzverfahren. Bd. 214 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1985.
[11] Wernstedt, J.: Experimentelle Prozeßanalyse. Berlin: VEB Verlag Technik 1989.
[12] Bretthauer, G.: Systemidentifikation am geschlossenen Regelkreis. Probleme und Methoden. Eine Übersicht. ZKI-Informationen, Berlin 4 (1978), S. 46—65.
[13] Gustavsson, I.; Ljung, L.; Söderström, T.: Identification of processes in closed loop. Identifiability and accuracy aspects. Automatica 13 (1977), pp. 59—75.
[14] Wilfert, H.-H.: Zur Identifikation linearer mehrvariabler Regelstrecken. Probleme und Methoden. Eine Übersicht. ZKI-Informationen, Berlin 4 (1978), S. 4—24.
[15] Bretthauer, G.: Identifikation rückgekoppelter Mehrgrößensysteme im Frequenzbereich. Einheitliche Darstellung und Vergleich der Verfahren. Dissertation B, TU Dresden 1983.
[16] Sage, A. P.: Hierarchical estimation and identification methods for large scale systems. In: Singh, M.; Titli, A.: Handbook of large scale systems, engineering applications. Amsterdam: North Holland Publishing Company 1979, pp. 189—205.
[17] Bubnicki, Z.: Global and local identification of complex systems with cascade structure. Systems Science (1975), pp. 55—65.
[18] Wilfert, H.-H.; Bretthauer, G.: Identification aspects in large scale systems. Preprints, 3rd IFAC/IFORS Symposium on Large Scale Systems/Theory and Applications. Warsaw 1983, pp. 593—598.
[19] Fresewinkel, T.; Unbehauen, H.: Die Identifikation komplexer Systeme. Problematik und Lösungsansätze. rt 32 (1984) 1, S. 3—7.
[20] Vorabdrucke der 6. Arbeitstagung „Algorithmisierte Prozeßanalyse". Dresden 1987, und msr, Berlin 30 (1987) 8.
[21] Haber, R.; Keviczky, L.: Identification of nonlinear dynamic systems. Preprints, 4th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation. Tbilisi 1976, pp. 62—112.
[22] Billings, S. A.: An overview of nonlinear system identification. Preprints, 7th IFAC/IFORS Symposium on Identification and System Parameter Estimation. York 1985, Vol. 1, pp. 725—730.
[23] Kubrusly, C. S.: Distributed parameter system identification. A Survey. Int. J. Control 26 (1977), pp. 509—535.
[24] Kopacek, P.: Identifikation zeitvarianter Systeme. Braunschweig: Verlag Vieweg 1978.
[25] Strobel, H.; Wernstedt, J.: Experimental approaches to dynamic process modelling. A survey of concepts, methods and applications. Plenary paper. IFAC-Symposium on Control Mechanism in Bio- and Ecosystems, Leipzig 1977.
[26] Eykhoff, P.: Biomedical identification: overview, problems and prospects. Preprints, 7th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, York 1985, Vol. 1, pp. 37—44.
[27] Cobelli, C.: Identification of endocrine-metabolic and pharmacokinetic systems. Preprints, 7th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, York 1985, pp. 45—54.
[28] Bekey, G. A.: Identification of neuromuscular systems. Preprints, 7th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, York 1985, pp. 69—76.
[29] Willsky, A. S.: A survey of design methods for failure detection systems. Automatica (1976) 12, pp. 601—611.
[30] Isermann, R.: Process fault detection based on modelling and estimation methods. Preprints, 6th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, Washington 1982, pp. 7—30.
[31] Baseville, M.; Benveniste, A.: Detection of abrupt changes in signals and dynamical systems. Berlin: Springer-Verlag 1986.
[32] Wernstedt, J.: Zum Einsatz von Beratungs-/Expertensystemen zur Lösung kybernetischer Probleme. msr, Berlin 29 (1986) 8, S. 349—353.
[33] Böhme, D.; Wernstedt, J.: Entwurfskonzepte für Beratungssysteme zur Lösung kybernetischer Aufgaben. msr, Berlin 30 (1987) 12, S. 535—539.
[34] Bretthauer, G.: Identifizierbarkeit von Teilsystemen in hierarchisch strukturierten Systemen. msr, Berlin 29 (1986) 5, S. 213—217.
[35] Bretthauer, G.: Strategien zur Modellbildung in hierarchisch strukturierten Systemen. msr, Berlin 29 (1986) 11, S. 495—500.
[36] Bretthauer, G.; Otto, P.; Wernstedt, J.; Wilfert, H.-H.: Beratungs-/Expertensysteme für die Modellbildung technischer und nichttechnischer Prozesse. In Vorbereitung. msr 8925

D. Trippler, R. Puhlmann, J. Wernstedt

DIOPRAN-88 — Programmsystem zur experimentellen Prozeßanalyse

0. Einleitung

Der verstärkte Einsatz von Computern bei der Lösung von Analyse- und Entwurfsaufgaben in der System- und Automatisierungstechnik erfordert die Entwicklung flexibler und praxisrelevanter Programmsysteme. Für die Probleme der experimentellen Prozeßanalyse gibt es bereits verschiedene Lösungen, z. B. EXPRAN für Großrechner [1] und SATER für Prozeßrechner [2].

Für die PC-Technik stehen umfassende Programmpakete für die oben genannten Aufgabenstellungen nicht zur Verfügung. Oft beinhalten die Programmsysteme nur spezielle, für einen Einsatzfall zugeschnittene Verfahren, oder sie setzen Hardwarebedingungen, z. B. für Echtzeit, voraus [3] und [4]. Ausgehend von dieser Tatsache wurde das Programmsystem DIOPRAN-86 für CP/M-kompatible Technik entwickelt [5]. DIOPRAN steht für „Dialogorientierte Experimentelle Prozeßanalyse". Ausgehend von den Erfahrungen mit der 8-bit-Variante, wurde in den letzten zwei Jahren das Programmpaket DIOPRAN-88 für 16-bit-PC (MS/DOS) entwickelt.

Das Programmsystem DIOPRAN-88 enthält eine Zusammenstellung bewährter Verfahren der Bestimmung und Schätzung von Signal- und Systemmodellen sowie zur Datenanalyse. Die Verfahren wurden so aufbereitet, daß sie im Dialog leicht genutzt werden können. Die zur Anwendung kommenden Verfahren wurden im wesentlichen [6] entnommen und entsprechen etwa dem Ausbildungsprofil in der Grundlagenausbildung „Experimentelle Prozeßanalyse" an der TH Ilmenau. Besonders großer Wert wurde auf einen nutzerfreundlichen und abgesicherten Dialog gelegt. Es kommen moderne Verfahren, z. B. die Fenstertechnik, zum Einsatz. Alle Menüfunktionen wurden so ausgelegt, daß bei vorhandener Hardware ohne weiteres die Bedienung im wesentlichen mit der Maus erfolgen kann. Die ständige Möglichkeit des Aufrufens einer HILFE-Funktion ermöglicht es dem Anwender sofort, auch ohne Manual, die Ursachen für eine Fehlermeldung bzw. abgelehnte Eingabe zu ermitteln. Das komplette Programmpaket wurde in FORTRAN 77 und 8086-Assembler erstellt.

1. Aufbau des Programmsystems

DIOPRAN-88 gliedert sich im wesentlichen in eine viergeteilte Bedienungsstruktur (Bild 1). Das Hauptmenü wird nach jedem abgearbeiteten Modul oder einer anderen, extern gestarteten, Sonderfunktion wieder erreicht. Über die Modulauswahl wird eine der Prozeßanalysefunktionen angewählt, mit der gearbeitet werden soll. Das RUN-Kommando startet die Funktion, wobei auch ein mehrmaliges Starten ohne erneute Auswahl möglich ist. Die Datenarbeit ermöglicht die Verwaltung und Anzeige interner und externer Daten. Mit dem Befehl SETUP kann der Nutzer das Programmsystem an seine Bedingungen anpassen.

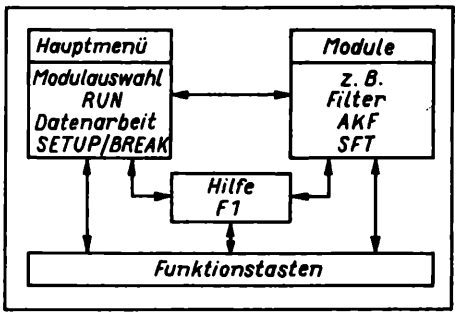


Bild 1. Allgemeine Bedienungsstruktur von DIOPRAN

Ist ein Modul gestartet, wird er im Dialog abgearbeitet. Innerhalb des Hauptmenüs und des Moduldialogs sind zu jedem Zeitpunkt die Funktionstasten aktivierbar, die eine Reihe wichtiger Datenverwaltungsfunktionen realisieren, wie Daten laden oder speichern, grafische und numerische Ausgabe usw. (Tafel). Darüber hinaus kann mit der Funktionstaste F1 zu jedem Zeitpunkt die Hilfe-Funktion aufgerufen werden, die einen zur aktiven Funktion gehörigen Text auf den Bildschirm einblendet.

Tafel. Belegung der Funktionstasten

Taste	Funktion
F1	Hilfestellung
F2	Laden von externen Daten
F3	Speichern von internen Daten auf externe Dateien
F4	Löschen von internen Daten
F5	Kopieren von internen Daten
F6	Umbenennen von internen Daten
F7	numerische Ausgabe von internen Daten
F8	grafische Ausgabe von internen Daten
F9	Inhaltsverzeichnis über die internen Daten
F10	Abbruch der aktiven Funktion

2. Datenstruktur

In DIOPRAN-88 unterscheidet man zwischen internen und externen Daten. Die eigentliche Prozeßanalyse erfolgt mit internen Daten, die sich im Rechnerspeicher befinden. Zur Zeit werden etwa 32000 Datenplätze intern verwaltet, die sich in maximal 50 Datenvektoren beliebiger Länge aufteilen lassen. Zur besseren Unterscheidung und Organisation der einzelnen Datenvektoren erhalten diese einen frei wählbaren Namen. Über diesen Namen erfolgt der Zugriff aller Funktionen auf die Daten. Daten, die bearbeitet bzw. ausgewertet werden sollen, sind über normale ASCII-Dateien bereitzustellen. In derselben Weise lassen sich interne Datenvektoren als externe Dateien abspeichern. Es existiert eine zweite Möglichkeit des Abspeicherns von Daten, die sich besonders bei umfangreicheren Arbeiten bewährt hat. Über eine Sonderfunktion der Datenarbeit läßt sich der Inhalt aller Datenvektoren in eine sogenannte Arbeitsdatei (.WRK) abspeichern. Das hat zum einen eine Erhöhung der Geschwindigkeit beim Laden und Abspeichern von Daten zur Folge und außerdem wird durch die Anwendung des internen Datenformates Speicherplatz auf dem externen Speichermedium (Floppy-, Hard-Disk) eingespart. Die Datenvektoren werden im Programmsystem und auch hier im weiteren als Datensätze bezeichnet.

Dr.-Ing. DETLEF TRIPPLER (28) studierte von 1978 bis 1983 Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik an der TH Ilmenau. Von 1983 bis 1986 dort wissenschaftlicher Assistent an der Sektion TBK. Seit 1987 Entwicklungsingenieur für Lehre und Forschung an der TH Ilmenau. 1987 Promotion A.

Dr.-Ing. ROLFGERHARD PUHLMANN (28) studierte von 1980 bis 1985 an der Sektion TBK der TH Ilmenau. Anschließend bis 1987 Forschungsstudent im WB Automatische Steuerung. Seitdem dort wissenschaftlicher Assistent. 1988 Promotion A.

Prof. Dr. sc. techn. JÜRGEN WERNSTEDT wurde bereits auf S. 434 vorgestellt.

3. Prozeßanalysefunktionen

Zur Zeit sind in DIOPRAN-88 23 Module der experimentellen Prozeßanalyse implementiert. Diese Funktionen sind in die fünf Gruppen:

1) Datenbearbeitung
2) Primärdatenaufbereitung
3) Signalmodellbildung — Amplitudenverhalten
4) Signalmodellbildung — Dynamisches Verhalten
5) Systemmodellbildung

geordnet.

3.1. Datenbearbeitung

In dieser Gruppe befinden sich folgende Methoden zur Erzeugung, Eingabe, Korrektur und Manipulation von Daten.

• *Erzeugung von Daten mit Zufallsgenerator*
Es können Zufallszahlen erzeugt werden, die folgenden Verteilungsgesetzen genügen:

— Gleichverteilung
— Normalverteilung
— Exponentialverteilung
— Gleichverteilung über logarithmischer Achse
— Normalverteilung über logarithmischer Achse.

• *Daten-Editor*
Mit diesem recht komfortablen numerischen Editor können Daten eingegeben werden oder bestehende Daten korrigiert werden.

• *Modifikation*
Unter der Modifikation von Daten sind verschiedene Transformationen zu verstehen, unter anderem seien als Beispiele folgende Funktionen genannt:

— Bildung der 1. Differenz
— Reziprokbildung jedes Datenwertes
— Berechnung des natürlichen Logarithmus
— Lineare Transformation (Abbildung eines Intervalles (a, b) auf das Intervall (c, d)).

• *Datensatzverknüpfung*
Mit dieser Funktion können Datensätze miteinander oder mit anderen deterministischen Funktionen verknüpft werden.

— Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division von zwei Datensätzen
— Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division einer Konstanten
— Addition einer Sinusfunktion
— Addition eines Trends
— Addition eines Sprunges.

3.2. Primärdatenaufbereitung

Diese Modulgruppe beinhaltet Funktionen der Datenvorbehandlung, wobei besonderer Wert auf gute Filtermethoden gelegt wurde.

• *Normierung und Zentrierung*
Dieser relativ einfache Modul realisiert die Normierung oder Zentrierung von Datensätzen.

• *Ausreißertest*
Als Ausreißertest kommen zwei einfache Verfahren zur Anwendung. Zum einen kann der sogenannte 3-Sigma-Test verwendet werden. Des weiteren kann ein Test auf technologische Grenzen erfolgen.

• *Trendermittlung*
Dieser Modul realisiert die Ermittlung und Beseitigung von Trendfunktionen. Folgende Trendansätze können realisiert werden:

$$- \; x_t = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 \cdot t \tag{1}$$

$$- \; x_t = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 \cdot t + \hat{a}_2 \cdot t^2 \tag{2}$$

$$- \; x_t = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 \cdot \sin(\omega_0 t) + \hat{a}_2 \cdot \cos(\omega_0 t) . \tag{3}$$

Zur Ermittlung der Parameter der Trendfunktionen kommt das Verfahren der direkten Regression zum Einsatz:

$$\hat{\boldsymbol{a}} = [\boldsymbol{T}^T \boldsymbol{T}]^{-1} \boldsymbol{T}^T \boldsymbol{x} . \tag{4}$$

• *einfache Filter*
Es sind einfache rekursive und nichtrekursive Filteralgorithmen realisiert:

— experimentelle Glättung

$$x_{k+1} = a u_k + (1 - a) x_k \tag{5}$$

— einfaches Gleitmittel

$$x_k = \sum_{i=-q}^{q} B_i u_{k+i} \tag{6}$$

mit

$$B_i = 1/(2q + 1) \tag{7}$$

oder

$$B_i = (\omega_g T/\pi) \sin(i\omega_g T)/(i\omega_g T) . \tag{8}$$

• *Butterworth-Filter*
Mit diesem Modul können anspruchsvollere Filteraufgaben gelöst werden, da sich die implementierten Butterworth-Filter durch eine hohe Steilheit im Frequenzgang auszeichnen. Die theoretischen Grundlagen zu allen hier eingesetzten Filteralgorithmen sind in [7] enthalten.

3.3. Signalmodellbildung — Amplitudenverhalten

Diese Funktionen ermitteln Verteilungen von Daten und lineare statistische Abhängigkeiten zwischen Daten.

• *Empirische Verteilung*
Der Bereich zwischen Maximum und Minimum eines Datensatzes der Länge N wird in M Klassen gleicher Größe aufgeteilt. Es werden die relativen Häufigkeiten in diesen Klassen ermittelt

$$M = \sqrt{N} \tag{9}$$

• *Lageparameter*
Von der Verteilung eines Datensatzes werden folgende Momente ermittelt:

— Mittelwert

$$\bar{x} = (1/n) \sum_{i=1}^{n} x_i \tag{10}$$

— Streuung

$$s^2 = (1/(n-1)) \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 \tag{11}$$

— Standardabweichung

$$s = \sqrt{s^2} \tag{12}$$

— Schiefe

$$\hat{\gamma} = (1/(n-1)) \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^3/s^3 \tag{13}$$

— Exzeß

$$\hat{\varepsilon} = (1/(n-1)) \sum_{i=1}^{n} ((x_i - \bar{x})^4/s^4) - 3 . \tag{14}$$

• *Korrelationskoeffizienten*
Ausgehend von der Kovarianzmatrix werden die totalen, partiellen und multiplen Korrelationskoeffizienten ermittelt. Durch einen modifizierten t-Test können die Korrelationskoeffizienten auf ihre Signifikanz geprüft werden.

— Kovarianz

$$\widehat{\mathrm{cov}}(x, y) = (1/(n-1)) \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) \tag{15}$$

— totaler Korrelationskoeffizient

$$\hat{\varrho}_{xy} = \widehat{\mathrm{cov}}(x, y)/(s_x \; s_y) \tag{16}$$

— partieller Korrelationskoeffizient

$$\hat{\varrho}_{xy(\mathrm{part})} = -c_{xy}/\sqrt{c_{xx} \cdot c_{yy}} , \tag{17}$$

wobei c_{ij} Elemente der Inversen der Kovarianzmatrix sind

— multipler Korrelationskoeffizient

$$\hat{\varrho}_{x(\text{mult})} = \sqrt{1 - 1/(s_x^2 c_{xx})} \tag{18}$$

3.4. Signalmodellbildung — Dynamisches Verhalten

In dieser Gruppe werden dynamische Kennfunktionen von Signalen ermittelt.

• *Korrelationsfunktionen*
Im Programmpaket wurden die Berechnung der Auto- und der Kreuzkorrelationsfunktion realisiert. Sie erlauben die Ermittlung von zeitverschobenen linearen statistischen Zusammenhängen innerhalb eines bzw. von zwei Signalen.

— Autokorrelationsfunktion

$$\hat{R}_{xx}(m) = (1/(n-m)) \sum_{i=1}^{n-m} x(i)\, x(i+m) \tag{19}$$

— Kreuzkorrelationsfunktion

$$\hat{R}_{xy}(m) = (1/(n-m)) \sum_{i=1}^{n-m} x(i)\, y(i+m) \tag{20}$$

• *Autoleistungsdichtespektrum*
Die Berechnung des Autoleistungsdichtespektrums kann mit verschiedenen Verfahren realisiert werden. Für DIOPRAN wurden drei Verfahren ausgewählt:

— Berechnung über die Fourier-Koeffizienten

$$S_{xx}(\omega) = K(A^2(\omega) + B^2(\omega)) \tag{21}$$

$$A(0) = (1/N) \sum_{i=1}^{N} x_i \tag{22}$$

$$A(\omega) = (2/N) \sum_{i=1}^{N} x_i \cdot \cos(\omega i) \tag{23}$$

$$B(\omega) = (2/N) \sum_{i=1}^{N} x_i \cdot \sin(\omega i) \tag{24}$$

— schnelle Fourier-Transformation
Dieses Verfahren ist eine von der Rechenzeit günstige Methode zur Berechnung des Spektrums. Die Rechendauer liegt um Größenordnungen unter der der normalen Fourier-Transformation. Nachteilig ist aber, daß nur Datenanzahlen verarbeitet werden können, die eine Potenz von zwei sind.

— Berechnung über die Autokorrelationsfunktion
Zur Unterdrückung des Einflusses von Rechenungenauigkeiten bei der Autokorrelationsfunktion kann diese gewichtet werden. Es ist die Wahl eines Stutzungspunktes möglich, außerdem kann die Autokorrelationsfunktion zum Ende hin abnehmend linear gewichtet werden. Es gilt somit:

$$\hat{S}_{xx}(\omega_i) = T\left(R^*_{xx}(0) + 2 \cdot \sum_{m=1}^{m'} R^*_{xx}(mT) \cdot \cos(mi\pi/m')\right). \tag{25}$$

3.5. Systemmodellbildung

Die Funktionsgruppe der Systemmodellbildung wird in den Stufen Auswahl der Modellstruktur — Schätzung der Koeffizienten — Ermittlung der Güte der Schätzung abgearbeitet. DIOPRAN-88 unterstützt diese Arbeitsweise, wobei das Schätzverfahren der Aufgabenstellung entsprechend ausgewählt werden kann.

• *Stufe 1: Wahl der Schätzstruktur*
Es wurde die Möglichkeit geschaffen, in einem bestimmten Rahmen beliebige Modellstrukturen zu entwickeln, wobei statisch lineare und nichtlineare und dynamische Ansätze möglich sind. In der derzeitigen Version sind folgende Beschränkungen zu beachten:

— maximal 16 Parameter
— Nichtlinearitäten bis 3. Grades
— Statisch nichtlinear und dynamisch linear gemischt in Hammerstein-Struktur
— Differenzengleichungen bis 7. Ordnung
— Gewichtsfolgemodelle bis zu 16 Stützstellen.

• *Stufe 2: Parameterschätzung*
Es können unterschiedliche Verfahren gewählt werden. Standardmäßig wird das Verfahren der direkten Regression gewählt. Bei numerisch ungünstigen Daten (großer Mittelwert, kleine Steuerung) können die Pseudoeingänge zentriert werden. Bei der Hilfsvariablenschätzung wird als Hilfsvariable das geschätzte Ausgangssignal verwendet. Dieses Verfahren wird rekursiv abgearbeitet, wobei zur Stabilisierung eine Anfangsschätzung mit der rekursiven Regression realisiert ist. Folgende Verfahren sind insgesamt in der derzeitigen Version implementiert:

— direkte Regression

$$\hat{s} = [M^T M]^{-1} M^T x \tag{26}$$

— rekursive Regression

$$K(k+1) = P(k)\, m(k)\, [1 + m^T(k+1)\, P(k)\, m(k+1)]^{-1} \tag{27}$$

$$\hat{s}(k+1) = \hat{s}(k) + K(k+1)\, [x(k+1) - m^T(k+1)\, \hat{s}(k)] \tag{28}$$

$$P(k+1) = P(k) - K(k+1)\, m^T(k+1)\, P(k) \tag{29}$$

— Kammlinienregression

$$\hat{s} = [M^T M + c \cdot I]^{-1} M^T x \tag{30}$$

— Hilfsvariablenschätzung

$$K(k+1) = P(k)\, h(k)\, [1 + m^T(k+1)\, P(k)\, h(k+1)]^{-1} \tag{31}$$

$$\hat{s}(k+1) = \hat{s}(k) + K(k+1)\, [x(k+1) - m^T(k+1)\, \hat{s}(k)] \tag{32}$$

$$P(k+1) = P(k) - K(k+1)\, m^T(k+1)\, P(k) \tag{33}$$

— Relaxation

$$\hat{s}(k+1) = \hat{s}(k) + \frac{1}{\|m(k+1)\|^2}\, m(k+1) \times [x(k+1) - m^T(k+1)\, \hat{s}(k)] \tag{34}$$

— stochastische Approximation

$$\hat{s}(k+1) = \hat{s}(k) + \frac{1}{(k+1)}\, m(k+1)\, [x(k+1) - m^T(k+1)\, \hat{s}(k)]\,. \tag{35}$$

Zur Bestimmung der Güte der Modelle werden folgende Gütewerte berechnet:

— Restquadratsumme
— Reststreuung
— Mittelwerte für Ausgangssignal und geschätztes Ausgangssignal
— Korrelationskoeffizient zwischen Ausgangssignal und geschätztem Ausgangssignal
— AIC-Kriterium zur Unterstützung der Ordnungssuche
— Konfidenzintervall der Parameter (wenn das Schätzverfahren dies zuläßt)
— Berechnung der Übergangsfunktion bei dynamischen Systemen.

Die hier aufgeführten Methoden und Verfahren stellen den derzeitigen Stand des Programmsystems DIOPRAN-88 dar. An der Erweiterung und Vervollkommnung der Methoden wird ständig gearbeitet.

4. Rechenbeispiel

Anhand eines einfachen Beispiels soll die Arbeitsweise des Programmsystems erläutert und gleichzeitig die Dialogführung demonstriert werden. Im gewählten Testfall ist aus einem Datensatz eine periodische (Sinus-)Störung zu beseitigen.
Bild 2 zeigt den Bildschirm während des Ladens eines Datensatzes. Auf der unteren Bildschirmhälfte wurde mit (F1) ein HELP-Bild aktiviert. Im Bild 3 ist der geladene Datensatz dargestellt. Zur Bestimmung der Frequenz des Störsignals soll ein Spektrum berechnet werden. Nach der Modulauswahl (Bild 4) wird die Funktion zur Berechnung des Spektrums gestartet. Nach erfolgter Berechnung (Bild 5) kann die dominierende Frequenz bestimmt werden. Bild 6 zeigt das berechnete Spektrum. Die Beseitigung dieser Schwingung kann durch den Modul Trendberechnung und -beseitigung erfolgen

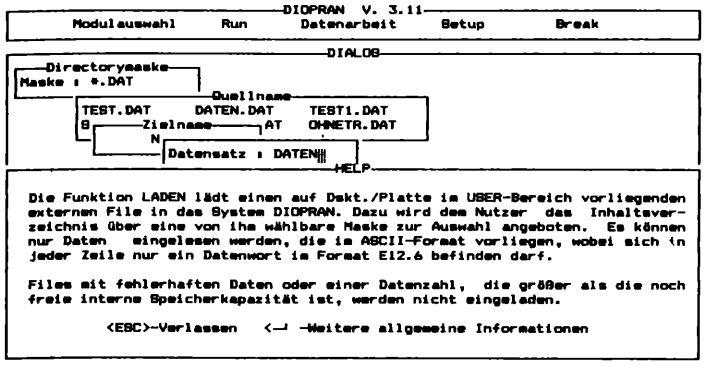


Bild 2. Laden von externen Daten mit aktivem HELP

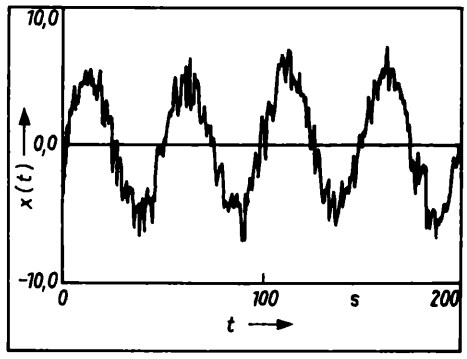


Bild 3. Grafische Darstellung der Daten

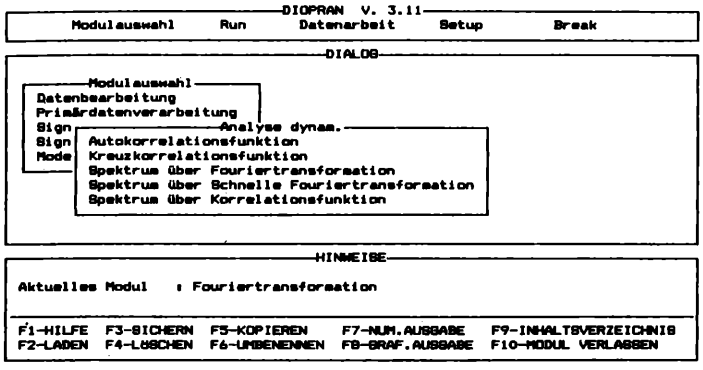


Bild 4. Modulauswahl zum Aktivieren der Fourier-Transformation

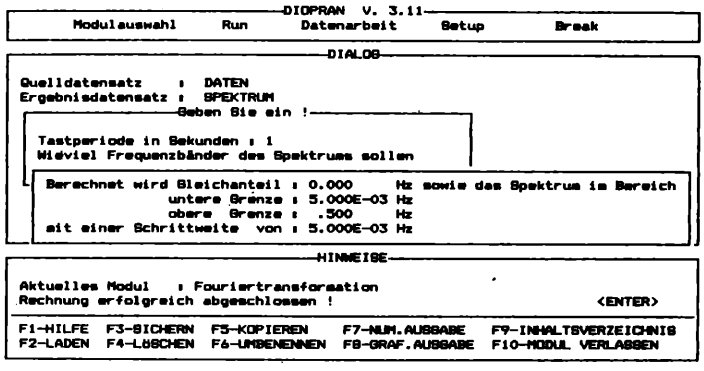


Bild 5. Fourier-Transformation

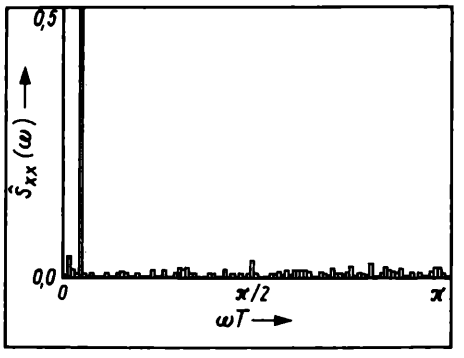
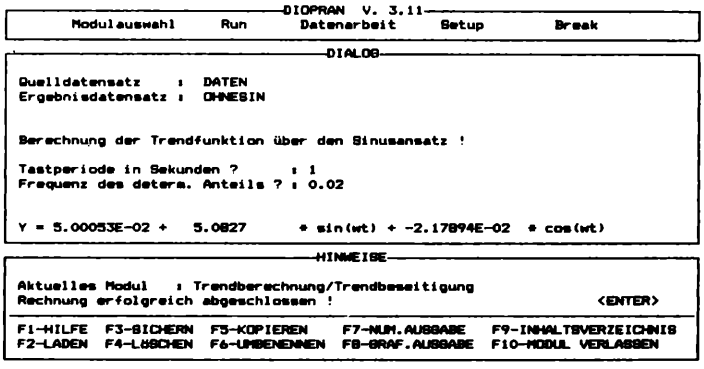


Bild 6. Autoleistungsdichtespektrum der Daten

Bild 7. Trendberechnung



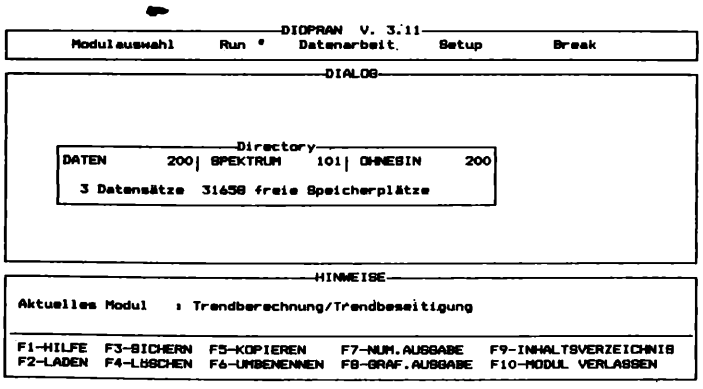


Bild 8. Internes Inhaltsverzeichnis nach Abschluß der Rechnung

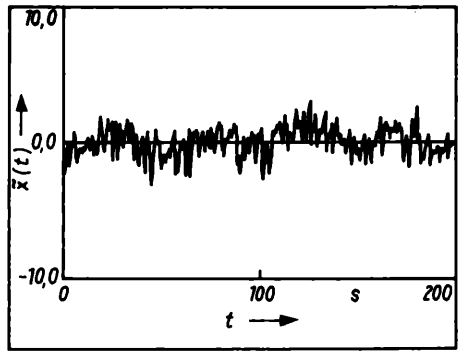


Bild 9. Trendbereinigte Daten

(Bild 7). Nach Abschluß der Rechnung zeigt Bild 8 das aktuelle interne Inhaltsverzeichnis und Bild 9 die trendbereinigten Daten.

Zusammenfassung

Das Programmsystem DIOPRAN-88 wurde konzipiert, um einfache robuste Verfahren der Prozeßanalyse schnell verfügbar zu machen. Ziel war es, den Dialog und die Bedienerführung so zu gestalten, daß auch Nutzern, die mit Rechentechnik wenig oder keine Erfahrung haben, eine leichte Anwendung ermöglicht wird. DIOPRAN-88 ist prinzipiell auf allen MS-DOS-kompatiblen Rechnern lauffähig, allerdings werden bei der grafischen Ausgabe zur Zeit nur die Bildschirmansteuerungen CGA und EGA unterstützt. Ein vorhandener Arithmetikprozessor wird genutzt. Zur Arbeit mit DIOPRAN-88 ist keine Festplatte notwendig, das Programm kann aber auf einer vorhandenen Festplatte installiert werden.

In der weiteren Entwicklung soll DIOPRAN-88 neben dem Einbau zusätzlicher Prozeßanalysefunktionen durch die Verwendung von in Regeln vorliegendem Wissen zur Anwendung und Gestaltung von Algorithmen und Strategien mittels Verwendung logischer Sprachen zu einem Beratungssystem für die experimentelle Prozeßanalyse DIOPRAN-EXPERT ausgebaut werden [8].

Literatur

[1] Böhme, D.; Winkler, W.: Programmsystem EXPRAN zur experimentellen Prozeßanalyse. Systembeschreibung. TH Ilmenau, 1982.

(Fortsetzung auf S. 444)

V. Krebs

Wissensmodellierung bei Diagnose-Expertensystemen

0. Einleitung

Seit Mitte der 80er Jahre ist sehr zögernd, aber doch mit zunehmender Tendenz der praktische Einsatz einer speziellen Klasse wissensbasierter Softwaresysteme, der sogenannten Expertensysteme (XPS), in Technik, Wirtschaft und Verwaltung festzustellen. So wurden von MERTENS [1] in der Bundesrepublik Deutschland, Österreich und der Schweiz im Jahr 1987 ungefähr 100 Projekte für die unterschiedlichsten betrieblichen Anwendungen ermittelt.

In der Automatisierungstechnik bietet sich der Einsatz von XPS zur Unterstützung des Bedienpersonals bei der Durchführung von Prozeßüberwachung und Fehlerdiagnose in Form von sogenannten Beratungs- oder Unterstützungssystemen [2] und [3] an. Dies wird durch die hierarchische Informationsstruktur komplexer Automatisierungssysteme nahegelegt, bei denen menschliches Erfahrungswissen zum Führen, Koordinieren und Eingreifen gefordert ist [4]. Dieses Expertenwissen kann bis zu einem gewissen Grade durch den Wissensingenieur im XPS abgebildet werden, d. h., in den Rechner verlagert werden, und so den Anlagenfahrer bei seinen Aufgaben entlasten.

Dieser Beitrag beschäftigt sich zunächst kurz mit den praktischen Realisierungsmöglichkeiten von XPS unter Verwendung der unterschiedlichsten Entwicklungswerkzeuge, bevor im anschließenden Abschnitt auf die spezielle und zentrale Problematik der Wissensmodellierung eingegangen wird. Diese wird als neue Aufgabe der Regelungs- und Automatisierungstechniker begriffen und am Beispiel von Diagnose-Expertensystemen veranschaulicht. Sie stellt die Transformation von extern verfügbarem Wissen in eine solche Wissensrepräsentationsform dar, die in der Wissensbank des XPS niedergelegt werden kann. Die Art der Modellierung bei typischen deduktiven bzw. induktiven XPS-Schalen, wird dann am Beispiel der Fehlerdiagnose-XPS für Kreiselgeräte veranschaulicht, die am Institut für Elektrische Informationstechnik der TU Clausthal aufgebaut worden sind.

1. Realisierung von Expertensystemen

Der allgemeine Aufbau von XPS ist bekanntlich durch das Zusammenwirken von fachgebietsunabhängigen Komponenten zur Problemlösung, zum Wissenserwerb und zur Erklärung der Schlußfolgerungen mit der das Expertenwissen enthaltenden fachspezifischen Wissensbank gekennzeichnet. Hinzu tritt eine Schnittstelle (Dialogkomponente) zur Kommunikation des XPS mit dem Benutzer [4] und [5].

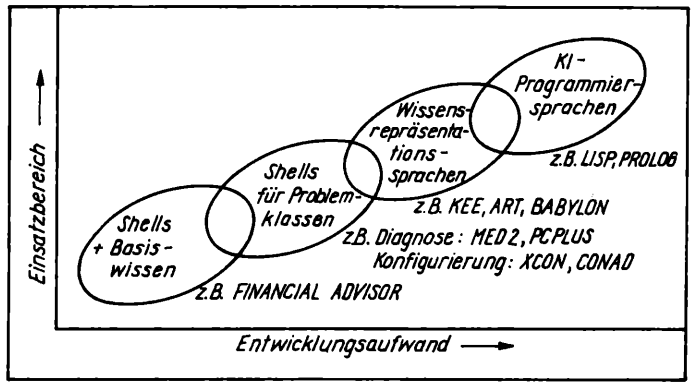


Bild 1. Qualitativer Zusammenhang zwischen Einsatzbereich und Entwicklungsaufwand bei XPS-Entwicklungswerkzeugen

Zur Realisierung von XPS stehen nun eine Vielzahl von Softwareentwicklungswerkzeugen zur Verfügung, deren Auswahl sich an

- Einsatzbereich/Entwicklungsaufwand (Bild 1)
- Lauffähigkeit auf PC/Arbeitsplatzrechner/Großrechner
- Kostenrahmen

orientiert. Wie Bild 1 verdeutlicht, stellen KI-Programmiersprachen und XPS-Shells oder -Schalen mit vorgegebenem Basiswissen für spezielle Anwendungen bei vergleichbarem Kostenrahmen die Extreme hinsichtlich Einsatzbereich und Entwicklungsaufwand dar. XPS-Shells sind leere XPS, bei denen alle Komponenten mit Ausnahme der fachgebietsabhängigen Wissensbank bereitgestellt werden. Hybride Werkzeuge wie die Wissensrepräsentationssprachen KEE, ART oder BABYLON beinhalten dagegen verschiedene Wissensrepräsentationsformen (z. B. Produktionsregeln, Prädikatenlogik, Objekte) mit den zugehörigen Inferenzmechanismen und eröffnen damit einen vielfältigen Anwendungsbereich. Allerdings wird neben den vergleichsweise höheren Softwarewerkzeugkosten und dem höheren Entwicklungsaufwand auch ein teurerer Arbeitsplatzrechner benötigt.

Einen guten Kompromiß bietet der Einsatz von XPS-Schalen für bestimmte Problemklassen (z. B. Planung, Konfigurierung, Diagnose). Dadurch ist eine verhältnismäßig schnelle Realisierung von Prototypen auf Personalcombutern bei vertretbarem Kostenaufwand möglich.

2. Wissensmodellierung bei Diagnose-XPS

Nach dem zuvor Gesagten stellt die Wissensmodellierung (auch Wissenserwerb genannt) die zentrale Aufgabe beim Aufbau eines

Prof. Dr.-Ing. VOLKER KREBS (44) studierte an der TU Berlin Elektrotechnik (Nachrichtentechnik). Von 1969 bis 1976 wissenschaftlicher Assistent und Dozent am Institut für Regelungstechnik der TH Darmstadt. 1976 Promotion. Von 1977 bis 1984 Industrietätigkeit (Projektleiter) beim Bodenseewerk Gerätetechnik GmbH in Überlingen. 1984 Professor für Regelungstechnik und Elektronik an der TU Clausthal. Seit 1985 geschäftsführender Leiter des Instituts für Elektrische Informationstechnik der TU Clausthal.

(Fortsetzung von S. 443)

[2] VAN DEN BOOM, A. J. W.; BOLLEN, R.: The interactive Package SATER. Eindhoven University of Technology, 1983.
[3] BRETTHAUER, G.; RÖMER, S.: Programmpaket zur Identifikation rückgekoppelter Mehrgrößensysteme im Frequenzbereich auf Kleinrechnern. 6. Arbeitstagung Algorithmisierte Prozeßanalyse, Dresden, 1987.
[4] PÖNIGK, D.; SCHÖTZ, H.-P.: Interaktives Mikrorechnerprogrammsystem für Echtzeitidentifikationsaufgaben. 6. Arbeitstagung Algorithmisierte Prozeßanalyse, Dresden, 1987.
[5] TRIPPLER, D.; PUHLMANN, R.; WERNSTEDT, J.: DIOPRAN-86 — ein Programmsystem zur dialogorientierten Prozeßanalyse. 6. Arbeitstagung Algorithmisierte Prozeßanalyse, Dresden, 1987.
[6] WERNSTEDT, J.: Experimentelle Prozeßanalyse. (Erscheint 1989 im VEB Verlag Technik Berlin).
[7] GROHMANN, J.; SCHULZE, R.: Darstellung von Methoden zur digitalen Filterung und Glättung von Signalen. 6. Arbeitstagung Algorithmisierte Prozeßanalyse, Dresden, 1987.
[8] BRETTHAUER, G.; OTTO, P.; WERNSTEDT, J.; WILFERT, H.-H.: Beratungs-/Expertensysteme für die Modellbildung technischer und nichttechnischer Prozesse (in Vorbereitung).

msr 8926

XPS dar. Bei Verwendung von XPS-Schalen besteht die einzige Aufgabe darin, das bei Experten oder anderweitigen Quellen (z. B. Datenblätter, Handbücher, technische Zeichnungen) verfügbare Wissen so zu transformieren oder zu modellieren, daß es einer durch die XPS-Schale vorgegebenen Wissensrepräsentationsform entspricht und damit die Wissensbank des XPS generiert werden kann.

Dies ist die Aufgabe der sogenannten Wissensingenieure; man überträgt sie zweckmäßigerweise Regelungs- oder Automatisierungstechnikern, da diese methodisch breit ausgebildet sind und sich schnell so tief in das jeweilige Fachgebiet einarbeiten können, daß sie kompetente Interviewpartner der Experten werden. Andererseits haben sie genügend Informatikkenntnisse, um die Wissenstransformation orientiert an den Möglichkeiten der verwendeten XPS-Schalen vorzunehmen und mit der Wissensbank das Expertensystem zu realisieren.

Viele XPS-Schalen stellen sog. Produktionssysteme dar, deren Wissensrepräsentation auf „Wenn-dann-Regeln" (Produktionsregeln) basiert, die besonders für Diagnoseaufgaben gut geeignet sind. Darüber hinaus hat man zu unterscheiden zwischen deduktiven und induktiven Schalen. Erstere erfordern die explizite Formalisierung des Wissens, z. B. in Form von Regelbäumen, und stellen somit höhere Anforderungen an den Wissensingenieur. Induktive Systeme dagegen ermöglichen den Wissenserwerb im Dialog des Benutzers bzw. Experten mit dem Rechner ohne explizite Formulierung der Regeln und auch ohne Wissensingenieur. Nach einer vom Institut für Elektrische Informationstechnik (IEI) der TU Clausthal 1987 vorgenommenen Marktuntersuchung sind etwa $^2/_3$ der verfügbaren XPS-Schalen deduktiver Art.

3.1. Deduktive XPS-Schalen

Am Beispiel eines am IEI entwickelten Diagnose-XPS für nordsuchende Kreiselanlagen mit einer im LISP-Dialekt SCHEME implementierten deduktiven Schale soll die Wissensmodellierung näher erläutert werden.

Die grundsätzliche Vorgehensweise des Wissensingenieurs zur Wissensmodellierung findet sich im Bild 2.

Das Systemwissen über den Aufbau der Kreiselanlage, bestehend aus drei Einheiten (Kreiselgerät, Bediengerät, Verbindungskabel) mit den zugehörigen Untereinheiten und das Wissen über die Test- und Fehlersuchstrategie (Strategiewissen) müssen zunächst verfügbar gemacht werden. Dazu dient die Auswertung von Schulungsunterlagen und Handbüchern für das Wartungspersonal sowie von Experteninterviews.

Die gewonnene Information ist nun zu formalisieren und zu strukturieren, d. h. zunächst einer externen Wissensrepräsentation zuzuführen. Diese kann als Flußdiagramm dargestellt werden und sollte sich bereits an den Möglichkeiten der XPS-Schale orientieren. Im vorliegenden Fall ist deren Wissensstruktur gekennzeichnet durch

- — *frames* zur Beschreibung spezieller Problembereiche und Lösung von Teilproblemen
- — *parameter* zur Speicherung von Fakten in der Wissensbank
- — *regeln* zur Beschreibung logischer Beziehungen zwischen Parameterwerten.

Dementsprechend kann die interne Wissensrepräsentation beispielsweise in einer Form entsprechend Bild 3 vorgenommen werden.

Die Diagnosestrategie setzt sich zusammen aus Funktionstests und der eigentlichen Fehlersuche. Dieses Wissen ist in einem sogenannten ROOT-FRAME „Funktionstest" und einem SUB-FRAME mit der Bezeichnung „Fehlersuche" abgebildet. Der ROOT-FRAME hat die beiden Zielparameter „Kreiselgerät" und „Kreiselanlage", deren Werte von der Problemlösungskomponente (Kontrollsystem) des XPS bestimmt werden müssen. Werden die in Sechsecke eingeschlossenen Werte „Störung" oder „Abgleich" für den Zielparameter „Kreiselgerät" ermittelt, so beginnt die eigentliche Fehlersuche in dem zugehörigen SUB-FRAME. Findet man „Hersteller" (d. h. Gerät an den Hersteller senden) oder „zentrale Wartung", endet die Konsultation zwischen Benutzer und XPS. Wird dagegen festgestellt, daß „Kreiselgerät" den Wert „in Ordnung" hat, wird der Wert des zweiten Zielparameters „Kreiselanlage" („Kabel", „Bediengerät" oder „in Ordnung") entsprechend Bild 3 ermittelt.

Das Auffinden des jeweils gültigen Wertes der Zielparameter erfolgt durch Rückwärtsverkettung. Dabei wird entsprechend dem Regelbaum im Bild 4 beispielhaft für den Zielparameter „Kreiselgerät" ausgehend von der jeweiligen Hypothese „Hersteller", „in Ordnung" usw. versucht, die zugehörigen Regeln zu verifizieren. Das bedeutet eine Überprüfung der Konditionsteile der entsprechenden Regeln durch Eingabe seitens des Benutzers (nach Anfrage durch das XPS) oder die direkte Verarbeitung von Meßinformation. Die Reihenfolge der Hypothesentests kann beeinflußt werden (Metawissen) und richtet sich nach meßtechnischer Zweckmäßigkeit und Erfahrung der Experten.

Das Wissensmodell besteht also im vorliegenden Fall einer deduktiven XPS-Schale aus einer Frame-Struktur entsprechend Bild 3 und Regelbäumen, wie im Bild 4 dargestellt.

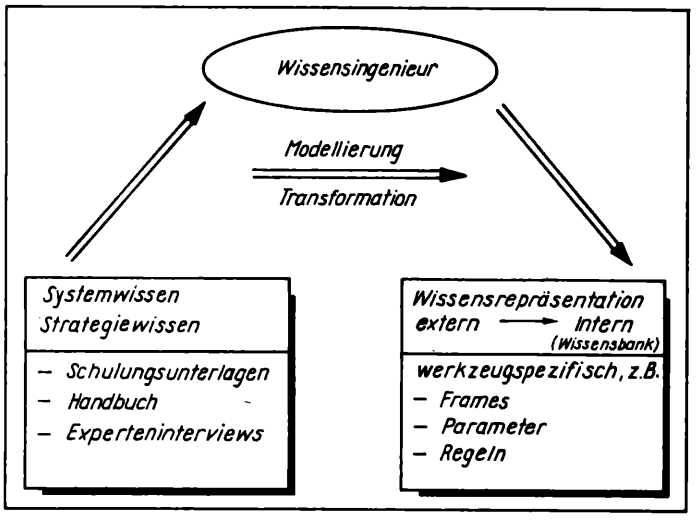


Bild 2. Wissensmodellierung durch den Wissensingenieur

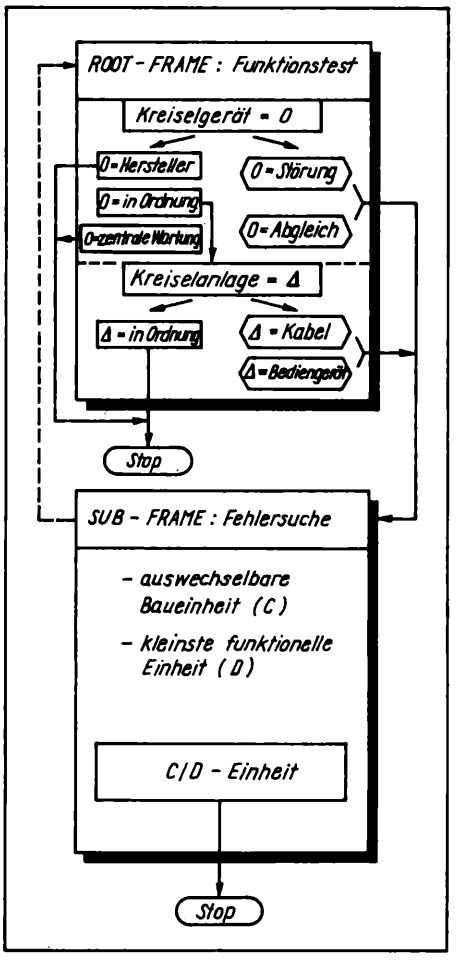


Bild 3. Internes Wissensmodell (Frames) eines Diagnose-XPS

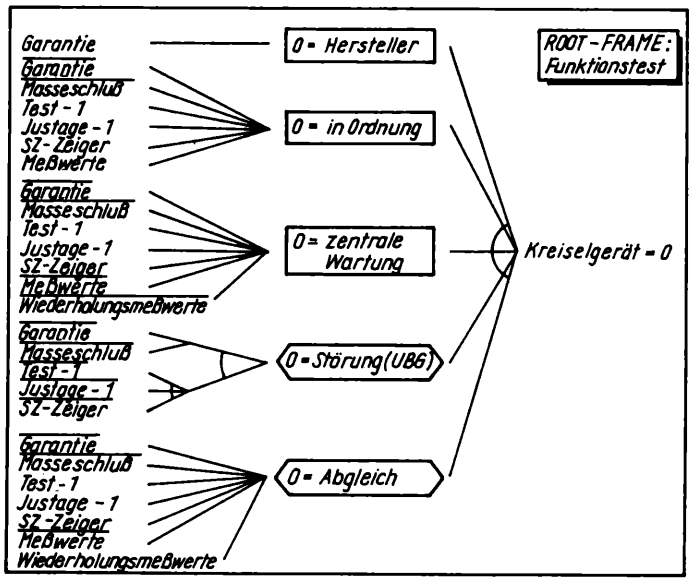


Bild 4. Internes Wissensmodell (Regelbaum) eines Diagnose-XPS
> UND-Verknüpfung; + ODER-Verknüpfung

3.2. Induktive XPS-Schalen

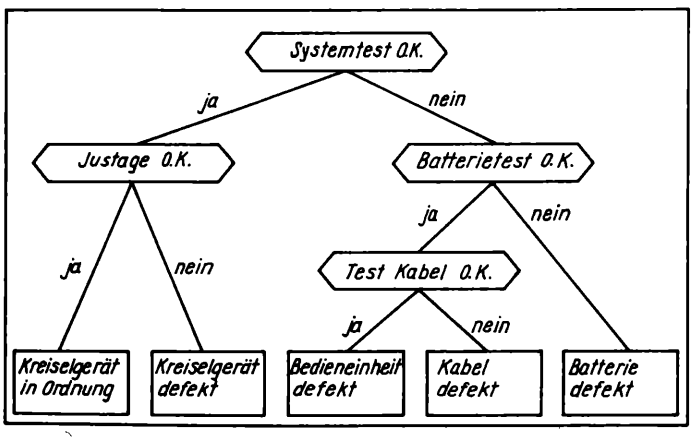
Zur weiteren Untersuchung von Wissenserwerbstechniken wurde in Zusammenarbeit zwischen dem IEI und dem Institut für Informatik der TU Clausthal der Prototyp eines Diagnose-XPS auch mit einer in Assembler geschriebenen auf dem IBM-PC lauffähigen induktiven XPS-Schale erstellt [6] und [7].

Bei der verwendeten Schale KDS (Hersteller: *Knowledge Delivery Systems Corporation*) werden die benötigten Produktionsregeln innerhalb von Wissensmodulen (Frames) vom System selbst durch Auswertung des über die Wissenserwerbskomponente und die Benutzerschnittstelle mit dem Experten geführten Dialoges erzeugt. Diese Regelgenerierung vollzieht sich für den Benutzer unsichtbar, kann jedoch mit dem Modell der formalen Begriffsanalyse nachvollzogen werden [7] und [8], worauf hier nicht näher eingegangen werden kann.

Beispielhaft soll nach [6] vielmehr der dialogische Wissenserwerb anhand eines kleinen Ausschnittes aus dem externen Wissensmodell vorgeführt werden (Bild 5 zeigt eine mögliche Darstellung der Zusammenhänge zwischen einigen Tests und den zugehörigen groben Fehlerdiagnosen in Form eines Entscheidungsbaumes):

Rechner: Erste Bedingung eingeben
Experte: Systemtest o. k.
Rechner: Antwort eingeben, die zutreffen kann, wenn die erste Bedingung zutrifft
Experte: Kreiselgerät defekt
Rechner: Antwort eingeben, die zutreffen kann, wenn die erste Bedingung NICHT zutrifft
Experte: Bedieneinheit defekt.

Bild 5. Externes Wissensmodell (Ausschnitt) eines Diagnose-XPS



Alle weiteren Bedingungen und Antworten (d. h. Diagnosen) werden nun so gewonnen, daß der Experte jeweils einen nicht im Rechner vorhandenen Diagnosefall eingibt. Der Rechner geht dann das ihm bisher verfügbare Wissen durch und führt damit eine notwendig falsche Diagnose aus. Dann wird der Experte um Richtigstellung, d. h. um weitere Bedingungen, gebeten, die den neuen Fall von dem diagnostizierten unterscheiden. Auf diese Weise wird im Rechner eine Kontexttabelle aufgebaut, die nach Eingabe aller bekannten Fehlerfälle automatisch in Regeln umgesetzt wird.

Im Beispiel nach Bild 5 setzt sich dementsprechend der Dialog wie folgt fort:

Rechner: Neue Eingabe
Experte: Kreiselgerät in Ordnung
Rechner: Systemtest o. k.?
Experte: Ja
Rechner: Kreiselgerät defekt. Ist das richtig?
Experte: Nein
Rechner: Richtige Antwort eingeben
Experte: Kreiselgerät in Ordnung
Rechner: Bedingung eingeben, die wahr ist, wenn „Kreiselgerät in Ordnung" und falsch wenn „Kreiselgerät defekt"
Experte: Justage o. k.

Die weitere Fortsetzung des Dialogs zum Wissenserwerb der rechten Seite von Bild 5 ist nach dem Vorstehenden offensichtlich.

Schlußfolgerungen

Es wurde gezeigt, daß sich mit dem Einbeziehen von wissensbasierten Softwarekomponenten in die hierarchische Informationsstruktur von Automatisierungs- oder Prozeßleitsystemen für den Regelungstechniker als Wissensingenieur ein weiteres Tätigkeitsfeld erschließt. Es geht beim Wissenserwerb um eine neue Art von Modellbildung oder Systemanalyse. Dabei sind die zu analysierenden Systeme nicht mehr dynamische mechanische oder elektrische Systeme, sondern Wissenssysteme.

Beim Vergleich von deduktiven und induktiven XPS-Schalen wurde deutlich, daß man zweckmäßig in beiden Fällen aus Gründen der besseren Übersicht zunächst eine externe Wissensrepräsentation aufbaut.

Der Vorteil der induktiven Schalen liegt dann darin, daß die Regeln für die interne Wissensrepräsentation vom System generiert werden. Der vermehrte Aufwand bei der Regeleingabe in deduktive Systeme macht sich jedoch durch bessere Übersicht über das Gesamtsystem und bessere Gestaltungsmöglichkeit der Erklärungskomponente (durch die Form der Regeln) bezahlt. Daher wird unter dem Gesichtspunkt des praktischen Einsatzes von XPS einem deduktiven System im allgemeinen der Vorzug gegeben werden.

Literatur

[1] Mertens, P.: Einführung zu Expertensystemen. Tutorium T4 der ACM Fachtagung „Expertensysteme '87", Nürnberg, April 1987.

[2] Wernstedt, J.: Zum Einsatz von Beratungs-/Expertensystemen zur Lösung kybernetischer Probleme. msr, Berlin 29 (1986) 8, S. 349—353.

[3] Bathelt, P.; Kerndlmaier, M.; Zink, T.: Expertensysteme für die technische Diagnose. Band 14 Fachberichte Messen, Steuern, Regeln (INTERKAMA 1986). Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1987.

[4] Krebs, V.: Expertensysteme in der Automatisierungstechnik. Stahl und Eisen 107 (1987) 5, S. 41—44.

[5] Ahrens, W.: Einsatz von Expertensystemen in der Prozeßleittechnik. atp 29 (1987) 10, S. 475—485.

[6] Nowinski, G.: Vergleich der XPS-Schalen KDS und PC-Plus bei der Entwicklung eines Diagnose-Expertensystems. Software-Praktikumsbericht. Institut für Elektrische Informationstechnik, Institut für Informatik der TU Clausthal, 1987.

[7] Brosda, V.; Hebisch, U.; Kupka, I.: Projekte zu Expertensystemen. Informatik-Bericht 88/1. Institut für Informatik der TU Clausthal, 1988.

[8] Ganter, B.; Wille, R.; Wolff, K. E. (Hrsg.): Beiträge zur Begriffsanalyse. Mannheim: Bibliographisches Institut 1987. msr 8923

D. Böhme, H.-J. Hoffmeyer-Zlotnik, F. Sokollik,
J. Wernstedt, W. Winkler

Möglichkeiten und Probleme der operativen Steuerung mit regelbasierenden Beratungssystemen — ein Anwendungsfall aus der keramischen Industrie

0. Einleitung

Tunnelöfen stellen in der keramischen Industrie wichtige Anlagen dar, über deren Betriebsweise maßgeblich Einfluß auf Produktmenge, Produktqualität und Erzeugniskosten genommen werden kann. Bisher scheiterte der Versuch einer vollautomatischen Steuerung an der Komplexität, der unzureichenden Reproduzierbarkeit der Prozeßabläufe und der damit fehlenden Möglichkeit einer exakten mathematischen Beschreibung des Prozesses. Dem Anlagenfahrer eines Tunnelofens muß deshalb immer noch ein weiter Entscheidungsspielraum bei der Steuerung des Ofens belassen werden. In dieser Situation erscheint die Steuerung durch ein bedingt automatisch arbeitendes rechnergestütztes Beratungssystem (BS), in das jederzeit über Dialog eingegriffen werden kann, als besonders zukunftsträchtig.

1. Zur Problematik der automatischen Steuerung von Tunnelöfen

Tunnelöfen werden im Gegenstromprinzip betrieben, d. h. das Brenngut wird (zumeist) auf Wagen kontinuierlich durch den Ofen entgegengesetzt zur Strömungsrichtung des erhitzten Gases befördert. Die Brenntechnologie erfordert u. a. die Einhaltung eines Temperaturprofils über den Ofenlängsschnitt und abschnittsweise die Gewährleistung bestimmter Reaktionsbedingungen (oxydierend, neutral, reduzierend) für das Brenngut. Temperaturprofil und Rauchgaszusammensetzung hängen von einer Vielzahl quantitativer und qualitativer, steuerbarer und nicht steuerbarer Größen ab, wobei den Volumenströmen von Gas (Stadtgas) und Luft, die den zu Brennergruppen zusammengefaßten Einzelbrennern zugeführt werden, besondere Bedeutung zukommt.
Eine theoretische Modellierung gelingt für einen Ofen prinzipiell durch ein umfangreiches System nichtlinearer partieller Differentialgleichungen [1]. Die genaue Bestimmung der zahlreichen Konstanten ist jedoch auch unter Zuhilfenahme von Experimenten nicht möglich, so daß ein theoretisches Modell nur ungenau die Dynamik eines konkreten Ofens wiedergibt. Ausreichend gut reproduzierbare Eingangs-/Ausgangsmodelle sind nur bei großem Experimentieraufwand zu erhalten, der aus ökonomischen Gründen (Qualitätsminderung bei großen Aussteuerungen) nicht im erforderlichen Maß betrieben werden kann.
Der Entwurf eines jeglichen Steuerungssystems muß demzufolge mit relativ ungenauen Modellen auskommen. Zusätzlich werden vom Betreiber Nebenbedingungen für das Steuerungssystem gestellt (vgl. Abschn. 3.1.), die nur schwer in systematischer Weise berücksichtigt werden können. Dies alles setzt einer angestrebten komplexen, vollautomatischen Lösung Grenzen. Moderne Automatisierungskonzeptionen belassen dem Operateur u. a. aus diesem Grund auch einen großen Entscheidungsspielraum, um direkt durch Steuereingriffe oder indirekt, z. B. durch On-line-Strukturierung digitaler Regler, durch Sollwertänderungen im Sinne des Feed-forward-Prinzips und dergleichen [2] und [3] ein befriedigendes Steuerverhalten zu erzielen. Das Problemfeld des Beratungssystementwurfs wird im Beitrag vorwiegend unter dem Gesichtspunkt des konkreten Anwendungsfalles betrachtet. Die Abschnitte 2., 3.2. und 3.4. weisen jedoch einen allgemeineren Charakter auf.

2. Aspekte der Entscheidungsunterstützung durch Beratungssysteme innerhalb der operativen Steuerung

Beratungssysteme können zur Unterstützung eines Entscheidungsablaufes in den Phasen der Entscheidungsvorbereitung, der eigentlichen Entscheidungsfindung und der Entscheidungsrealisierung eingesetzt werden.
Die Unterstützung der Entscheidungsvorbereitung kann grob mit den Begriffen Informationsverarbeitung und -aufbereitung umrissen werden. Die neue Qualität im Automatisierungskonzept besteht diesbezüglich darin, daß nicht nur gewonnene Daten, sondern auch subjektive Einschätzungen, ebenso wie Fragen und Aussagen des Operateurs, algorithmisch, ggf. unter Einbeziehung des Menschen, verarbeitet werden können [4].
Hinsichtlich der Unterstützung der Entscheidungsrealisierung ergeben sich neue Möglichkeiten durch das Verbinden von ermitteltem Steuervorschlag und einem Entscheidungsbeiwert („Vertrauensmaß"), was die Durchführung verschiedener Steuerregime [5] gestattet. Hinzu kommt die Möglichkeit des Verblockens unerlaubter Steuerhandlungen auf der Basis eines hinterlegten Regelwerkes [6].
Die hervorragende Eigenschaft der Unterstützung der eigentlichen Entscheidungsfindung besteht darin, daß diese prinzipiell auch bei fehlendem oder nur sehr grobem Prozeßmodell durch einen Rechner möglich ist, falls auf das Wissen des Operateurs über zweckmäßiges Steuerverhalten zurückgegriffen wird. Dieses muß implizit in Form von Daten vorliegen [5] bzw. explizit durch Experten in Form von Regeln angegeben werden können [7] und [8].
Ein sehr wesentlicher, für o. g. Phasen gemeinsamer Aspekt der operativen Steuerung auf der Basis von BS ist der, daß das BS in seinem Verhalten in einem weiten Rahmen einer Prozeß- oder

Dr.-Ing. DIETMAR BÖHME (31) studierte von 1976 bis 1981 Technische Kybernetik an der TH Ilmenau. Danach bis 1985 dort an der Sektion TBK wissenschaftlicher Assistent. Seit 1985 Entwicklungsingenieur im VE Wissenschaftlich-Technischer Betrieb Keramik Meißen, BT Langewiesen, mit einer Industriedelegierung an die TH Ilmenau. 1986 Promotion A.
Dr.-Ing. HANS-JOACHIM HOFFMEYER-ZLOTNIK (57) studierte von 1962 bis 1969 an der TH Ilmenau parallel zu seiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter im VEB Carl Zeiss JENA Technische Kybernetik. Anschließend wissenschaftlicher Assistent am Wissenschaftsbereich Automatische Steuerung der Sektion TBK der TH Ilmenau. Dort 1976 Promotion A.
Dr. sc. techn. FRANK SOKOLLIK (38) studierte von 1968 bis 1972 an der TH Ilmenau Technische Kybernetik. 1972 bis 1983 wissenschaftlicher Assistent bzw. Oberassistent an der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg. 1976 Promotion A, 1981 Promotion B, 1981 bis 1983 Delegierung zum VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht". Gegenwärtig im VE Wissenschaftlich-Technischen Betrieb Keramik Meißen als Leiter des BT Langewiesen.

Prof. Dr. sc. techn. JÜRGEN WERNSTEDT wurde bereits auf S. 434 vorgestellt.

Dr.-Ing. WINFRIED WINKLER (48) studierte bis 1964 Regelungstechnik an der HS für Elektrotechnik (später TH) Ilmenau. Von 1964 bis 1966 Entwicklungsingenieur im Institut für Regelungstechnik Berlin. Seither wissenschaftlicher Assistent am WB Automatische Steuerung der Sektion TBK der TH Ilmenau. Dort 1972 Promotion A.

Technologieänderung eigenständig durch die Experten, ohne Mitwirkung der Entwurfsingenieure, angepaßt werden kann. Dies wird besonders bei Verwendung von Regeln als Wissensbasis des Systems deutlich.
Leider existiert, u. a. bedingt durch die Vielzahl möglicher bzw. tatsächlicher Einsatzfälle, eine nur schwer systematisierbare Menge von Entwurfskonzepten basierend auf verschiedenen theoretischen Einzelwissenschaften und einbezogenen Heuristiken, was ebenso, wie die z. Z. offenen theoretischen Probleme (vgl. Abschn. 4.), einer häufigen praktischen Anwendung entgegenwirkt.

3. Entwurf eines Beratungssystems bei speziellem A-priori-Wissen und vorgegebenen Einsatzanforderungen

3.1. A-priori-Wissen und Einsatzanforderungen

Existiert von einem Prozeß kein ausreichend genaues quantifizierbares Modell, muß das explizit oder implizit vorliegende Wissen über das zweckmäßige Steuerverhalten zum Entwurf genutzt werden. Unter Leitung der Technologen des Erstbetreibers wurden für eine große Anzahl möglicher, verbal beschriebener Varianten von Abweichungen der Regelgrößen von ihren Sollwerten (sogenannte Störfälle) 26 Steuerstrategien erarbeitet, durch deren Anwendung jeweils wieder eine Normalisierung der Betriebsbedingungen erreicht werden soll. Die Steuerstrategien stellen jeweils die i. allg. schwierige, situationsabhängige Zuordnung von zu regelnden Ofenzuständen und Steuergrößen her und enthalten für deren Verstellungen (Stellschrittfolgen) quantitative Angaben. Des weiteren existieren empirisch gewonnene bzw. technologisch begründete Grenzwerte und Ungleichungsbeschränkungen für die Stellgrößen sowie für zulässige und noch tolerierbare Wertebereiche der Regelgrößen.
Als Beispiel einer verbal formulierten Steuerstrategie sei hier angegeben:
„WENN die Temperatur im Übergang (zwischen oxydierender und reduzierender Zone) wesentlich zu hoch ist UND in der reduzierenden Zone (Zone 2) wesentlich zu starke Reduktion vorherrscht UND die Temperatur in dieser Zone NICHT wesentlich zu niedrig ist, DANN vermindere den Volumenstrom *Gas* 2 um s_1 m³/h und vermindere gleichzeitig den Volumenstrom *Luft* 2 so, daß das Verhältnis zwischen Gas und Luft konstant bleibt UND, WENN o. g. Bedingungen noch nach t_1 Minuten vorherrschen, DANN vermidere *Gas* 2 um s_2 m³/h und führe Luft entsprechend nach UND, WENN . . .".
Im „DANN-Zweig" einer Regel können neben solchen Stellschrittfolgen weiterhin die zeitweilige Änderung von Sollwerten (Bezugsgrößen für die linguistischen Aussagen „zu hoch", „zu niedrig" usw.) und das Senden von Nachrichten, auf die ggf. unterschiedlich reagiert werden muß, festgelegt sein. Natürlich wird vom Betreiber nur ein System akzeptiert, bei dem eine weitestgehende Änderung der Wissensbasis, d. h. Anpassung, Streichung und Hinzufügung von Steuerstrategien, Änderung von Grenzwerten usw., leicht vorgenommen werden kann. An die Arbeitsweise des BS werden vom Betreiber vier wesentliche Anforderungen gestellt:

1. Das BS soll die überwiegende Anzahl der Störfälle vollautomatisch bekämpfen, jedoch auch den Operateur auf kritische Fälle hinweisen. Diese Arbeitsweise erleichtert die Mehrfachbedienung von Öfen durch einen Operateur.
2. Das BS soll (ausschließlich) technologisch zulässige Stelleingriffe des Operateurs zu jedem Zeitpunkt zulassen.
3. Die Stellhäufigkeit soll trotz relativ geringer Taktzeit möglichst gering sein, um den Stellgliedverschleiß zu begrenzen.
4. Das BS soll möglichst komfortabel eine Beurteilung des augenblicklichen Ofengesamtzustandes durch den Operateur unterstützen und ihm eine gewisse (nicht notwendig vollständige) Transparenz über die Wissensverarbeitung, speziell die selektierten Steuerstrategien und die darausfolgend zu erwartenden zukünftigen Stelleingriffe, ermöglichen.

3.2. Diskussion einiger Lösungskonzepte

Beim Entwurf eines Beratungssystems müssen im Kontext der konkreten Aufgabenstellung u. a. folgende Gesichtspunkte berücksichtigt werden:

1. Um die Akzeptanz eines solchen Systems zu sichern, muß der Entwerfer den Wünschen des Betreibers weitestgehend entgegenkommen, mindestens jedoch die im vorangegangenen Abschnitt genannten Anforderungen erfüllen. Verwendete Heuristiken bei der Entscheidungsfindung sollten durch Sachkenntnisse des Betreibers gestützt werden können.
2. Die einem System gegebenen Freiheitsgrade sollten die geforderte Flexibilität gewährleisten, sich jedoch dabei auf einen Umfang beschränken, der noch ein zielgerichtetes Variieren von Systemparametern und Wissensbasis gestattet. Zudem muß von vornherein abgeschätzt werden, ob sich rechentechnische Parameter limitierend auswirken.
3. Das Gesamtsystem, bestehend aus BS und unterlagertem Prozeßrechner, muß echtzeitfähig sein.

Da nur wenige, schwer miteinander vergleichbare Einsatzfälle bekannt sind, bezieht sich die Literatur überwiegend auf das Problem der Wissens-(Regel-)Verarbeitung, d. h. auf die Ermittlung eines Steuervorschlages, ohne auf die o. g. Aspekte einzugehen.
Eine Möglichkeit zur Realisierung von linguistischen Regelalgorithmen, die zur Verarbeitung einer Regelmenge von einzelnen „IF ⟨Bedingung⟩ THEN ⟨Aktion⟩"-Regeln genutzt werden können, bieten unscharfe Regler. Die hier angewandte Fuzzy-Theorie bietet scheinbar zwei Vorteile:

1. Die über Zugehörigkeitsfunktionen bewertete Zuordnung zwischen quantitativen Größen und linguistischen Variablen modelliert die menschliche Unsicherheit in Grenzbereichen offensichtlich besser, als eine scharfe Zuordnung zwischen Meßwertintervallen und linguistischen Variablen.
2. Die mit der unscharfen Logik über die Zugehörigkeitsfunktionen ermittelbaren Zugehörigkeitswerte jeder Regel zur Menge der für eine konkrete Situation anwendbaren (zutreffenden) Regeln können als „Wichtungsfaktoren" zur Ableitung eines konkreten Steuervorschlages dienen.

Beide Vorteile sollten jedoch bei einer konkreten Anwendung nochmals einer kritischen Betrachtung unterzogen werden. Dabei kann hier nur auf zwei Aspekte eingegangen werden (andere Gesichtspunkte werden in [9] betrachtet):

1. Die Festlegung konkreter Zugehörigkeitsfunktionen erfolgt mehr oder weniger willkürlich, insbesondere auch deshalb, weil i. allg. die quantitativen Bezugsgrößen der linguistischen Variablen nicht die Meßgrößen selbst sein können, sondern abgeleitete Größen darstellen müssen, über deren Verläufe der Operateur demzufolge auch keine Erfahrungen besitzt. Wenn z. B. ein Operateur die linguistische Variable „steigend" benutzt, bezieht sich diese sicherlich nicht auf den Gradienten eines Signals x zum gegenwärtigen Zeitpunkt, der angenähert durch $(x(k) - x(k-1))/T$ mit T als Abtastintervall berechnet werden könnte, sondern auf den Gradienten einer mentalen, intuitiv gewonnenen Signalmodellfunktion mit störungskompensierenden Eigenschaften. Genau letztere müßte als Bezugsgröße verwendet werden. Inwieweit die dann numerisch bestimmten „Gradienten" mit der mentalen Modellfunktion übereinstimmen, bleibt offen, was Vorteil 1. erheblich relativiert.
2. Die verwendeten Aggregations-(„Mischungs-")Vorschriften für zugehörigkeitsbewertete Regeln können nicht streng objektiviert werden. Damit diese wenigstens durch die beim Steuern des Prozesses gewonnenen Erfahrungen der Operateure begründet werden können, ist es erforderlich, daß die DANN-Zweige der zu aggregierenden Regeln einfache, vergleichbare und über Zugehörigkeitsfunktionen quantifizierbare Werte von Steuergrößen darstellen, wie im Falle des „klassischen" unscharfen Reglers von [10]. Es zeigt sich jedoch, daß bei der Tunnelofensteuerung und offensichtlich auch bei vielen anderen Prozessen [11] die in den einzelnen Regeln niedergelegten (empirisch begründeten) Reak-

tionen komplexe Steuerstrategien mit zum Teil nur verbal beschreibbaren Handlungen darstellen, aus denen aber nicht durch „Mischung" neue Reaktionsmuster abgeleitet werden können. Zwar ist auch bei Anwendung der Fuzzy-Theorie eine scharfe Regelauswahl (z. B. über Schwellwerte für Zugehörigkeitsfunktionen) möglich, nur ist dann der Vorteil eines Steuerungssystems, das eine Entscheidungstabelle realisiert [12], die jedoch nicht explizit vorliegt, schwer nachzuweisen.

Eine zweite Quelle möglicher Lösungskonzepte bietet das durch die Informatik vorangetriebene Gebiet der wissensverarbeitenden Systeme, das im Hinblick auf die konkret gegebene Wissensrepräsentation durch weitere Stichworte, wie „Produktionssysteme" und „Expertensysteme" [13], umrissen werden kann. Eine Analyse der Autoren kommt allerdings in völliger Übereinstimmung mit [14] zu dem Schluß, daß die bei der Steuerung des dynamischen Prozeßverhaltens geforderte Echtzeitfähigkeit Probleme aufwirft, zu deren Lösung z. Z. weder wesentliche theoretische Erkenntnisse, insbesondere das Gesamtsystemverhalten betreffend, vorliegen, noch nutzbare (Rahmen-)Expertensysteme zur Verfügung stehen.
Gegen die Verwendung einer KI-Sprache zum Aufbau des Beratungssystems spricht vornehmlich der hohe Anteil von numerischen (algorithmischen) Teilproblemen, wie die Bestimmung der qualitativen Merkmale aus den gemessenen Prozeßsignalen, die geforderte Abarbeitungsgeschwindigkeit, das (zunächst) nicht in der Form von WENN-DANN-Regeln mit einfachen Aussagen im DANN-Zweig (wie bei PROLOG gefordert) vorliegende Wissen sowie ökonomisch motivierte Limitierungen der eingesetzten Rechentechnik (8 bit Verarbeitungsbreite, 64 Kbyte Hauptspeicher, 256 Kbyte RAM-Disk).

3.3. Gewählter Lösungsweg und realisiertes Systemkonzept

Die Lösung der gesamten Entwurfsaufgabe für ein BS zur operativen Tunnelofensteuerung kann in mehrere Teilaufgaben zerlegt werden, deren zeitliche Bearbeitungsfolge, ohne Berücksichtigung der eventuell notwendig werdenden Iterationen, das Flußbild im Bild 1 wiedergibt.

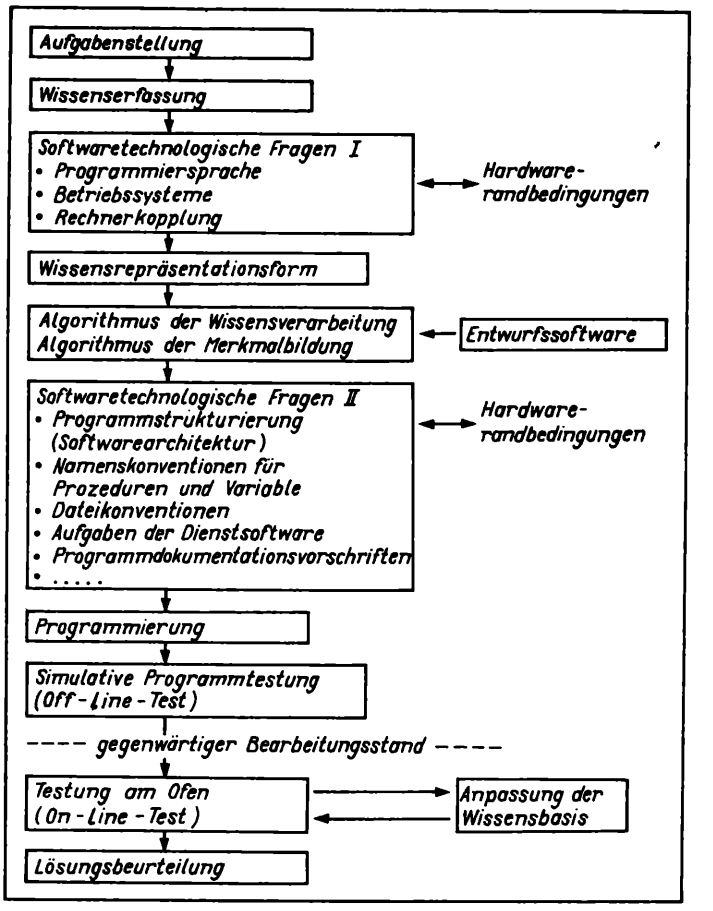


Bild 1. Flußbild für Entwurf des Beratungssystems zur operativen Tunnelofensteuerung

3.3.1. Softwaretechnologische Fragen I

- Wahl der Programmiersprache
  Eine dementsprechende Analyse ergab, daß einige Programmiersprachen, wie PROLOG, LISP und ASSEMBLER, offensichtlich für diesen Anwendungsfall ungeeignet sind. Eine rein objektiv begründete Auswahl aus den verbleibenden ist jedoch nach Ansicht der Autoren nicht möglich. Hier wurde TURBO-PASCAL verwendet, da damit u. a. folgende Vorteile verbunden sind:
  — gute Unterstützung der Programmentwicklung
  — frei wählbare Datentypen
  — geringe Einschränkungen bei der Namenswahl, damit Selbstdokumentation der Programme möglich
  — Overlaytechnik
  — hoher Verbreitungsgrad.
- Rechnerkopplung, Betriebssysteme
  Für die geforderte Echtzeitfähigkeit ist ein Echtzeitbetriebssystem notwendig, das das unter SCPX laufende BS zeitgetaktet zum Zwecke der Datenübertragung unterbricht. Dieses wurde im BS-Rechner implementiert. Der Datentransfer von Meßwerten, Stellwerten und anderen binären Signalen (Stellgliedbegrenzungen, Meßstellenausfall u. dgl.) zwischen Basisrechner und Beratungssystem erfolgt über einen gemeinsamen RAM-Bereich. Umkodierungen zwischen verschiedenen internen Zahlendarstellungen realisiert das BS.

3.3.2. Wissensrepräsentationsform

Das BS verwendet zur Ermittlung der Stellwerte zwei Arten von Wissen, das über technologische Grenz- und Sollwerte und das über die Steuerstrategien (vgl. Abschn. 3.1.), das in selbstgetypten Datenstrukturen niedergelegt und auf Dateien dieses Typs extern gespeichert wird. Jede Steuerstrategie ist an eine Bedingung gebunden, die als logischer Ausdruck in Form einer UND-Verknüpfung einzelner Alternativen („benötigte Alternativen") bzw. ihrer Negationen („verbotene Alternativen") verschiedener Merkmale formuliert werden kann. Aus diesem Grund wird dafür im weiteren der Begriff „Regel" benutzt. Die interne Repräsentation zeigt Bild 2.

Bild 2. Interne Wissensrepräsentation einer Regel in Form eines Satzes (TURBO-PASCAL)

```
TYPE
Stellfolge=record
 Verstellrichtung,Schrittzeit:byte;
 (* Codierung Verstellrichtung:
 (*          1 = hoch                                  *)
 (*          2 = runter                                *)
 (*          3 = hoch   & Lambda const. gefordert *)
 (*          4 = runter & Lambda const. gefordert *)
 Verstellung                :array[1..5] of byte;
end;
temp_Sollwertaenderung=record
 Richtung:byte;
 Wert    :integer;
end;
Bedingung=record
 benoetigte_Alternativen,verbotene_Alternativen:string[14];
end;
Schrittnachricht=record
 Schrittzeit:byte;
 N_Nr       :array[1..5] of byte;
 (* Nummernfolge der zusendenden Nachrichten              *)
end;
Regel=record                                          (*BYTES*)
 Nr         :byte;                                    (*    1*)
 Klasse     :byte;                                    (*    1*)
 Prior      :byte;(* Regelprioritaet *)                (*    1*)
 Bezeichnung:string[11];                              (*   12*)
 B          :Bedingung;                               (*   30*)
 Menge_u    :set of 1..9;                             (*    2*)
 (* Menge der angesprochenen Stellgroessen                *)
 Menge_w    :set of 1..7;                             (*    1*)
 (* Menge der Groessen mit temporaerer Sollwertaenderung  *)
 Folge_u    :array[1..9] of Stellfolge;               (*   54*)
 temp_w     :array[1..7] of temp_Sollwertaenderung;   (*   21*)
 NS         :Schrittnachricht;                        (*    6*)
 NU,NW      :byte;                                    (*    2*)
 (* Nummer der Unterbrechuns-/Wiedereintritts Nachricht   *)
end;                                                  (*= 131*)
```

3.3.3. Regelverarbeitung

Die Steuerung des dynamischen Ofenverhaltens mittels Regeln, d. h. die Bekämpfung von Störfällen, weist einige Besonderheiten auf, denen die Regelverarbeitung gerecht werden muß:

1. Häufig treten am Ofen mehrere Störfälle zugleich auf, die entweder

1a. gleichzeitig und voneinander unabhängig
oder

1b. in bestimmter Reihenfolge, begründet durch unterschiedliche Dynamiken möglicher Qualitätsfehler bzw. durch die Verkopplung der einzelnen Zustandsgrößen, bekämpft werden müssen.
Zur Realisierung von 1a. werden drei Regelklassen eingeführt, denen die einzelnen Regeln eindeutig zugeordnet sind und für die die noch im weiteren erläuterte Regelverarbeitung voneinander unabhängig erfolgt. Der Fall 1b. wird über Regelprioritäten realisiert.

2. Die in den DANN-Zweigen festglegten Aktionen stellen nicht einmalige Handlungen dar, sondern erstrecken sich über einen längeren (z. T. unbegrenzten) Zeitraum.
Daraus ergibt sich, daß jeder Regel ein Abarbeitungszustand (Regelzeitzähler) zugeordnet werden muß. Sie gilt als abgearbeitet, wenn entweder die Regelbedingung nicht mehr erfüllt ist (der Störfall erfolgreich ausgeregelt wurde) oder wenn die Stellschrittfolge voll abgearbeitet wurde. Im letzteren, selten auftretenden Fall wird dies zumeist mit dem Senden einer quittungspflichtigen Nachricht (die Störung kann möglicherweise überhaupt nicht regelungstechnisch bekämpft werden und erfordert andere Maßnahmen des Operateurs) und mit einem „Neustart" der Stellfolge verbunden.

Da über die vergebenen Regelprioritäten Abarbeitungsrangfolgen festgelegt sind, besteht die Möglichkeit, daß die Bekämpfung eines Störfalles unterbrochen werden muß, da ein anderer hinzukommt, der durch Anwendung einer höherpriorisierten Regel bekämpft wird. Diese kann gegebenenfalls wieder unterbrochen werden usw. Andererseits kann es zur Wiederaufnahme einer Störfallbekämpfung kommen, falls ein (über die entsprechende Regel) höherpriorisierter Störfall erfolgreich ausgeregelt wurde.
Zur kompakteren Darstellung der Regelverarbeitung seien nachfolgend die Definitionen einiger Begriffe eingeführt, die sich auf ein Tastintervall und jeweils eine Regelklasse beziehen:

Bild 3. Algorithmus der Regelverarbeitung in PASCAL-Syntax (Auszug)

```
for Klasse:=1 to 3 do begin
 Bestimmung_zutreffende_nichtzutreffende_Regeln(Klasse);
 Bestimmung_aktive_Regel(Klasse);
 if Nr_abgearbeitete_Regel[Klasse]<>0
(* wurde im letzten Tastschritt eine Regel bearbeitet ?   *)
 then begin
  if Nr_abgearbeitete_Regel[Klasse]<>Nr_aktive_Regel
  then begin
  (* weitere Anweisungen *)
   if Nr_abgearbeitete_Regel[Klasse] in zutreffende_Regeln
   then Sende_Unterbrechungsnachricht;
  end;
 end
 else abgearbeitete_Regel:=aktive_Regel;
 Ruecksetzen_temporaerer_Verstellungen_Regelzeit
(Regelstack[Klasse]-Regelstack[Klasse]*zutreffende_Regeln));
(* Ruecksetzen der Regelzeitzaehler und der ggf. vorge-    *)
(* nommenen temporaeren Sollwertaenderungen fuer alle      *)
(* Regeln, die im letzten Tastschritt angearbeitet waren   *)
(* ("Regelstack[Klasse]"), jetzt aber nicht mehr zutref-   *)
(* fend sind                                               *)
 if zutreffende_Regeln<>[]
(* Indexmenge der zutreffenden Regeln nicht leer ?         *)
 then begin
  if (Nr_aktive_Regel in Regelstack[Klasse]) and
     (Nr_abgearbeitete_Regel[Klasse] in
      nichtzutreffende_Regeln)
  then Sende_Wiedereintrittsnachricht;
  Nr_abgearbeitete_Regel[Klasse]:=Nr_aktive_Regel;
  Regelzeiterhoehung(Nr_aktive_Regel);
(* weiterhin: Ermittlung der ggf. notwendigen anderen      *)
(*            Massnahmen                                   *)
 end
 else Nr_abgearbeitete_Regel[Klasse]:=0;
 Bestimmung_angearbeitete_Regeln(Klasse);
 Regelstack[Klasse]:=zutreffende_Regeln*angearbeitete_Regeln;
end;
```

- Eine Regel heißt zutreffend, wenn durch die konkrete Merkmalsbelegung die Bedingung dieser Regel erfüllt ist.
- Eine Regel heißt angearbeitet, wenn sie zutreffend ist und zumindest einen Stellschritt, wobei der Verstellungswert Null nicht ausgeschlossen wird, und/oder eine Sollwertänderung veranlaßt und/oder eine Nachricht gesendet hat.
- Eine Regel heißt unterbrochen, wenn sie angearbeitet ist und wenigstens eine zutreffende Regel mit höherer Priorität existiert.
- Eine Regel heißt aktiv, wenn sie unter allen zutreffenden Regeln die höchste Priorität besitzt.
- Eine Unterbrechung einer Regel liegt dann vor, wenn sie im letzten Tastintervall aktiv und im aktuellen Tastintervall unterbrochen ist.
- Ein Wiedereintritt in eine Regel (Wiederaufnahme einer Störfallbekämpfung) liegt dann vor, wenn eine Regel im letzten Tastintervall unterbrochen und im aktuellen Tastintervall aktiv ist.

Mit den eingeführten Definitionen läßt sich der Algorithmus direkt in PASCAL-Syntax beschreiben (Programmauszug im Bild 3). Zwei Aspekte des Algorithmus verdienen explizit hervorgehoben zu werden, zum einen, weil sich so der bei der Merkmalbildung (Abschn. 3.3.4.) getriebene Aufwand gut motivieren läßt, und zum anderen kann damit zum Verständnis des Abschn. 4. beigetragen werden:

1. Der Regelzeitzähler einer nichtzutreffenden Regel hat stets den Wert Null. Dies hat zur Folge, daß bereits nach einem einmaligen, durch Störungen bedingten Nichterfülltsein einer Regelbedingung während einer Störfallbekämpfung die Regelabarbeitung erneut gestartet wird.
2. Eine Regelzeiterhöhung findet nur für eine aktive Regel statt. Damit setzen unterbrochene Regeln bei Wiedereintritt ihre Maßnahmen so fort, als ob keine Unterbrechung stattgefunden hätte.

Die nach Ermittlung aller Maßnahmen bis zum nächsten Tastzeitpunkt verbleibende Zeit (etwa 60 ... 90 s) steht dem Operateur für den Dialog mit dem BS zur Verfügung. Dabei sind durch Anwahl verschiedener Bildschirmseiten Informationen über die Ofensignale bzw. der daraus abgeleiteten qualitativen Merkmale, frühere, momentane und zukünftig zu erwartende Verstellungen, vorübergehend geänderte Sollwerte, gesendete Nachrichten usw., zu erhalten, aber auch eine Änderung der (zu diesem Zeitpunkt noch nicht realisierten) berechneten Verstellungen ist möglich. Da der Datentransfer zu definierten Zeiten erfolgen muß, verlangt die Dialoggestaltung im Programm eine zyklische Wiederholung von Tastaturabfrage, ggf. notwendigen Systemreaktionen und Uhrzeitabfrage.

3.3.4. Merkmalbildung

Die in den Regelbedingungen verwendeten qualitativen Merkmale treffen für jeweils ein durch Mittelung gebildetes sogenanntes Referenzsignal bzw. direkt für ein Meßsignal Aussagen in Form festgelegter Alternativen, entweder über den Signalbereich (z. B. „zu hoch") oder über die Signaltendenz (z. B. „steigend").
Die auf der Hand liegende, aber nicht exakt formulierbare Forderung nach möglichst großer Übereinstimmung zwischen algorithmisch bestimmten Alternativen und subjektivem Empfinden der Experten bedingt die Erfüllung zweier, schwer miteinander verträglicher Teilziele. Einerseits darf die Merkmalbildung nicht durch auftretende Störungen (hier: stochastische bzw. mit stochastisch auftretendem periodischem Anteil versehene Störungen, sogenannte Welligkeitsmuster) so beeinflußt werden, daß ein häufiger Alternativenwechsel auftritt, andererseits muß eine tatsächliche Signaländerung mit geringster Verzögerung erkannt werden.

Algorithmus zur Bestimmung eines Signalbereichs

Die Signale werden zunächst mit einem rekursiven Tiefpaßfilter

$$y_F = a y_F(k-1) + (1-a)\, y(k) \qquad (1)$$

geglättet. Weil Störungen damit nur gedämpft, nicht aber beseitigt werden können, ist es erforderlich, Hysteresebänder einzuführen. Der „Sollbereich" liegt immer symmetrisch zum Sollwert, auch wenn dieser infolge der Abarbeitung bestimmter Regeln zeitweise

vom technologisch vorgegebenen abweicht. Dessen Breite kann wie auch die Breite der angrenzenden Signalbereiche „zu tief" bzw. „zu hoch" vom Technologen vorgegeben werden. Die Hysteresebänder liegen symmetrisch zu den Bereichsgrenzen. Befindet sich das Signal in einem der Hysteresebänder, so wird es jeweils demjenigen der angrenzenden Bereiche zugeordnet, den es zuvor durchlaufen hat. Hierdurch werden die störungsbedingte Umschalthäufigkeit und damit der Stellgliedverschleiß verringert.
Die Lage der Signalbereiche und Hysteresebänder sowie das Prinzip der Zuordnung der Bereiche zum Meßgrößenverlauf ist im Bild 4 dargestellt. Freie Parameter zur (einmaligen) Anpassung an das gewünschte Verhalten sind Hysteresebreite und Filterfaktor.

Algorithmus zur Bestimmung der Signaltendenz

Zur Alternativenbestimmung wird von zwei Signalmodellen

$$\hat{y}_l(t) = \hat{a}_{l0}(k) + \hat{a}_{l1}(k)\, t = [1\ t]\, \hat{a}_l \tag{2}$$

und

$$\hat{y}_q(t) = \hat{a}_{q0}(k) + a_{q1}(k)\, t + a_{q2}(k)\, t^2 = [1\ t\ t^2]\, \hat{a}_q \tag{3}$$

ausgegangen, deren Parameter jeweils unter Einbeziehung der letzten N Signalwerte (einschließlich des aktuellen Wertes) über die Regressionsgleichung:

$$\hat{a}_{.}(k) = [M_{.}^T M_{.}]^{-1} M_{.}^T y(k) = P_{.} M_{.}^T y(k) = S_{.} y(k) \tag{4}$$

mit

$$\begin{aligned} y(k) &= [y(k-N+1) \dots y(k)]^T, \\ S_l &= [s_{l0}\ s_{l1}]^T, \\ S_q &= [s_{q0}\ s_{q1}\ s_{q2}]^T \end{aligned} \tag{5}$$

bestimmt werden (Der Index „ . " steht hier und in den folgenden Gleichungen für l oder q.). Dabei sind die Matrizen S_l und S_q in jedem Tastschritt konstant, wenn mit einem gleitenden Horizont gerechnet wird, der dem aktuellen Tastschritt k die Zeit NT und dem Tastschritt $k - N + 1$ die Zeit $1T$ zuordnet. Den numerischen Wert des „Signalgradienten" grad (k) zum aktuellen Tastschritt k erhält man (definitionsgemäß) entsprechend (6)

$$\text{grad}\,(k) = \begin{cases} \text{grad}_q\,(k) & \text{falls } |\text{grad}_q\,(k) - \hat{a}_{l1}(k)| < \varepsilon_1 \\ \hat{a}_{l1}(k) + \varepsilon_1 & \text{falls } \text{grad}_q\,(k) - \hat{a}_{l1}(k) \geqq \varepsilon_1 \\ \hat{a}_{l1}(k) - \varepsilon_2 & \text{falls } \hat{a}_{l1}(k) - \text{grad}_q\,(k) \geqq \varepsilon_1 \end{cases} \tag{6}$$

und

$$\text{grad}_q\,(k) = \hat{a}_{q1}(k) + 2N\hat{a}_{q2}(k)\,. \tag{7}$$

Da $\hat{a}_{.l}(k)$ über das Skalarprodukt von

$$\hat{a}_{.l}(k) = s_{.l}^T y(k) \tag{8}$$

berechnet werden kann, lassen sich die Signalgradienten in Form einer Faltungssumme schreiben

$$\text{grad}_{.}\,(k) = \sum_{i=0}^{N-1} g_{.i} y(k-i) = g_{.}^T * y(k) \tag{9}$$

mit

$$g_l = s_{l1}\,, \qquad g_q = s_{q1} + 2Ns_{q2} \tag{10}$$

und daraus die Frequenzgänge ableiten [15].
Bild 5 zeigt ein Meßsignal, den nach (6) bestimmten Gradienten grad (k) und seine Zuordnung zu den Alternativen:

$$\begin{aligned} &\text{„steigend"} && \leftrightarrow && \text{grad}\,(k) > \varepsilon_2\,, \\ &\text{„gleichbleibend"} && \leftrightarrow && -\varepsilon_2 \leqq \text{grad}\,(k) \leqq \varepsilon_2\,, \\ &\text{„fallend"} && \leftrightarrow && \text{grad}\,(k) < -\varepsilon_2\,. \end{aligned} \tag{11}$$

Freie Parameter sind hier N, ε_1 und ε_2.
Durch den Parameter N wird die Anzahl der zurückliegenden Signalwerte, die in die Gradientenbildung einbezogen werden sollen, gesteuert. Durch ε_1 wird die Ankopplung von grad$_q$ (k) an grad$_l$ (k) in den Fällen erzwungen, in denen grad$_q$ (k) nach Ansicht des Anlagenfahrers zu stark einer Störung nachgeht. Der Parameter ε_2

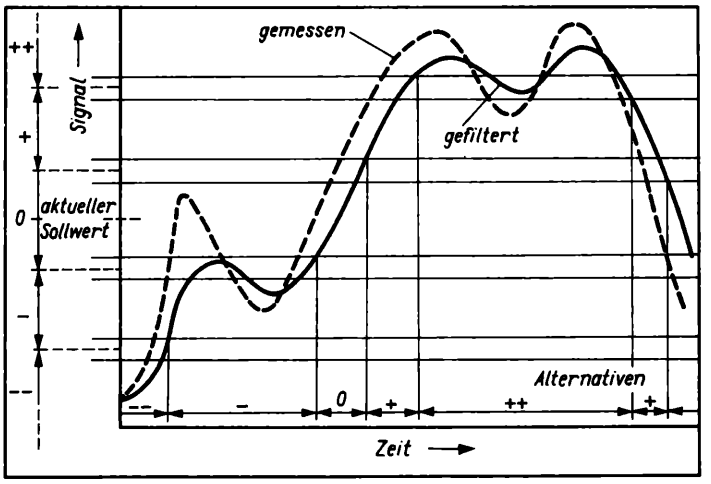


Bild 4. Algorithmische Bestimmung des Merkmals „Signalbereich"
symbolische Kennzeichnung der Alternativen: + + wesentlich zu hoch; + zu hoch; 0 Sollbereich; — zu niedrig; —— wesentlich zu niedrig

legt fest, welche Abweichungen des Gradienten vom Wert 0 noch als unerheblich gelten sollen und daher vom Anlagenfahrer der Alternative „gleichbleibend" zugeordnet werden und welche Abweichungen als „steigend" oder „fallend" angesehen werden.

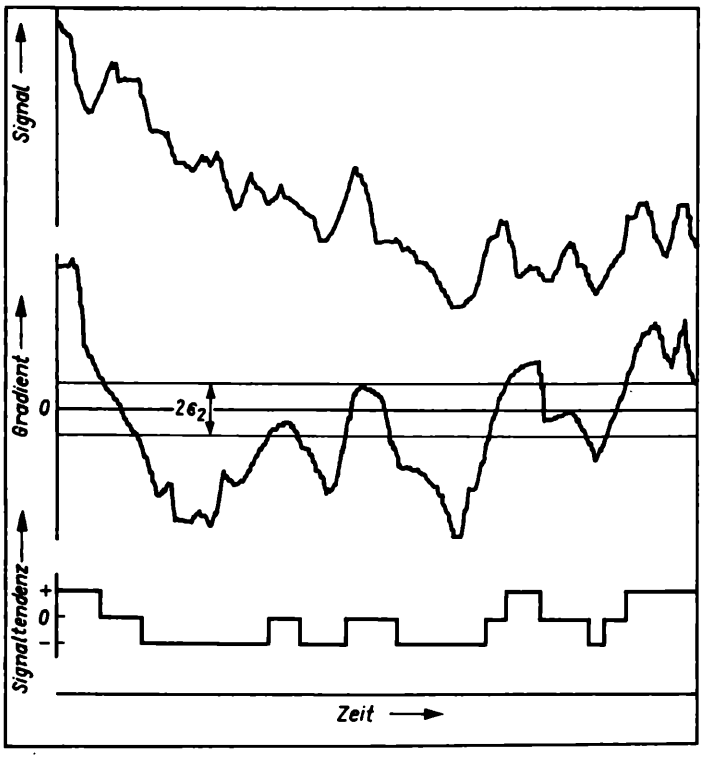
Bestimmung der freien Parameter

Durch das Bearbeiterteam wurden für eine größere Anzahl ausgewählter Signalverläufe über bestimmte Zeitabschnitte den einzelnen getasteten Signalwerten konkrete Alternativen der entsprechenden Merkmale zugewiesen. Unter Nutzung der dafür geschaffenen Entwurfssoftware erfolgte eine Parametervariation derart, daß sich eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen vorgegebenen und ermittelten Alternativen für alle Beispiele ergab [15].

3.4. Simulativer Test des Beratungssystems

Im Abschnitt 3.3. wurden sachlogisch begründete Algorithmen zur Merkmalbildung und Regelverarbeitung vorgestellt. Es ist jedoch

Bild 5. Algorithmische Bestimmung des Merkmals „Signaltendenz"
symbolische Kennzeichnung der Alternativen: + steigend; 0 gleichbleibend; — fallend



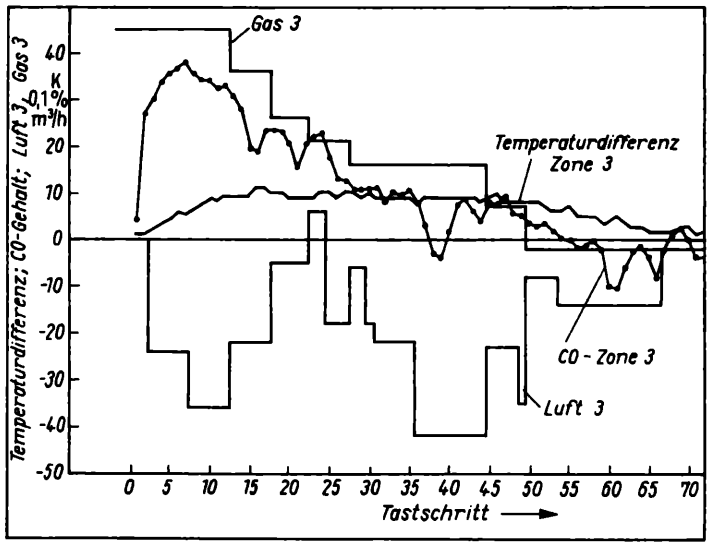


Bild 6. Regelungsverhalten des Beratungssystems.
Störfallsimulation durch Gas-3-Verstellung um +45 m³/h; arbeitspunkt- bzw. sollwertbezogene Darstellung aller Größen; Luft 3 gespiegelt

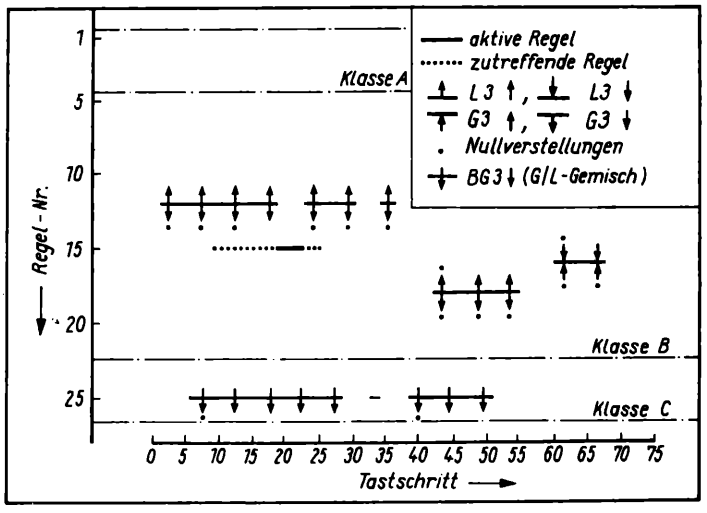
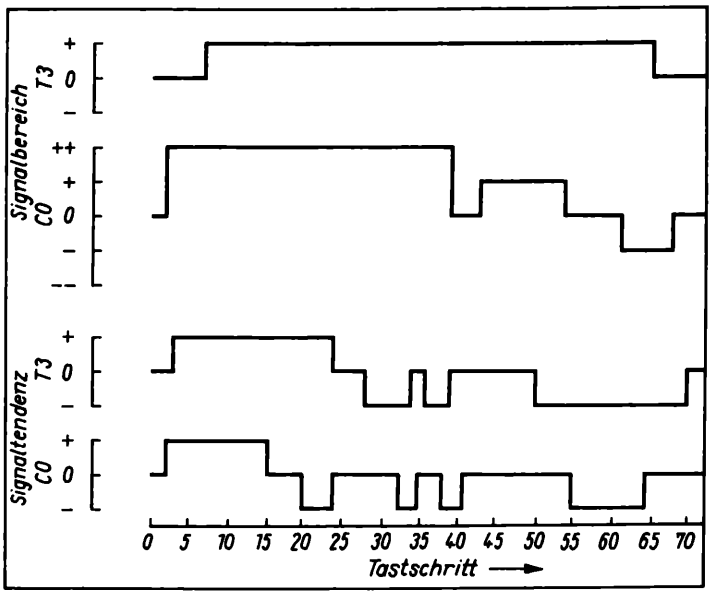


Bild 7. Zeitliche Änderung des Regelstatus und Folge der ausgelösten Verstellungen (Stellgröße, -zeitpunkt, -richtung) für die Störfallbekämpfung nach Bild 6

Bild 8. Merkmale der Signale *T3* und *CO* während der Störfallbekämpfung nach Bild 6
symbolische Kennzeichnung der alternativen Signalbereiche: + + wesentlich zu hoch; + zu hoch; 0 normal; — zu niedrig; — — wesentlich zu niedrig
Signaltendenzen: + steigend; 0 gleichbleibend; — fallend



offensichtlich, daß damit kaum das Regelungsverhalten, das im Ergebnis des Zusammenwirkens der Algorithmen und durch die Prozeßrückkopplung entsteht, vorausbestimmt werden kann. Da diesbezüglich auch keine analytischen Methoden bekannt sind, wurde versucht, mittels Prozeßsimulation die prinzipielle Funktionsfähigkeit nachzuweisen. Es bestand die Möglichkeit, durch Auswertung eines großtechnischen Versuches ein Grobmodell des statischen und dynamischen Übertragungsverhaltens des Tunnelofens in Form nichtlinearer Differenzengleichungen zu erstellen [16]. Dieses Modell gibt die Zusammenhänge im Ofen prinzipiell richtig wieder. Es ist jedoch nur für ein bestimmtes Wertetupel nicht berücksichtigter Größen (Besatzart, Schubgeschwindigkeit u. a.) gültig. Weiterhin ist die Reproduzierbarkeit nicht gesichert, da weitere Versuche ausgeschlossen waren, so daß mit erheblichen Fehlern bezüglich Verstärkungsfaktoren und Zeitkonstanten gerechnet werden muß. Trotz dieser Unzulänglichkeiten kann es in Verbindung mit einem Störsignalmodell, das in Form einer Wertefolge, aufgenommen bei stationärem Ofenverhalten, für jedes Meßsignal real aufgetretene Störungen reproduziert, im Sinne der o. g. Zielstellung dienen.
Anhand einer Vielzahl durchgeführter Simulationsläufe, bei denen Störfälle durch erhebliche Auslenkungen der Stellgrößen von ihren Arbeitspunkten „erzeugt" wurden (im realen Ofen entstehen diese z. B. durch Eindringen von Falschluft infolge undichter Wagen), konnte

1. die Funktionsfähigkeit der Software
2. die Eignung des BS zur (vollautomatischen) Störfallbekämpfung nachgewiesen werden.

Ein Beispiel hierfür zeigt Bild 6. Die Temperatur *T3* und der *CO*-Gehalt sind hier die zu steuernden Größen. Wie zu ersehen, werden nach einer sehr starken Anfangsauslenkung von *Gas* 3 diese Größen innerhalb von etwa 70 Tastschritten durch das BS in die Sollbereiche zurückgeführt. Die durch Regeln gesteuerten Größen sind hier *Gas* 3 und *Luft* 3.
Bild 7 gibt aus der Menge der 26 Regeln die zutreffenden und die aktiven Regeln an, die während der Bekämpfung des in Bild 6 vorliegenden Störfalles aufgerufen wurden. Die Pfeile deuten die durch die aktiven Regeln ausgelösten Steuereingriffe bezüglich *Gas* 3 und *Luft* 3 an. Im Bild 8 sind die Merkmale „Signalbereich" und „Signaltendenz" der Signale *T3* und *CO* dargestellt, die während des Störfalles und seiner Beseitigung auftraten.
Anhand der Simulation ergeben sich bereits Hinweise zur Modifikation der ursprünglich vorgegebenen Wissensbasis, die im späteren On-line-Test bestätigt werden muß.

4. Offene theoretische Probleme

Mit der Nutzung von Beratungs-/Expertensystemen innerhalb der Kybernetik werden jetzige und zukünftige Möglichkeiten zur Prozeßsteuerung für eine neue, in sich heterogene Aufgaben-/Systemklasse sichtbar [4] und [12].
Leider existieren z. Z. jedoch weder für eine große Anzahl verwendeter Begriffe verbindliche Definitionen, noch eine ausreichende Systematisierung des Gesamtgebietes durch abgegrenzte Aufgabenklassen mit zugehörigen Lösungsmethoden. Letztere stehen aus o. g. Gründen im wesentlichen unvergleichbar nebeneinander.
Für eine Vielzahl gelingt zwar die mathematische Formalisierung, mit der allerdings keine analytische Vorabbestimmung des Gesamtsystemverhaltens getroffen werden kann. Somit sind auch in der Entwurfsphase nur unsichere Aussagen über den zu erzielenden Nutzen möglich. Es muß insbesondere darauf hingewiesen werden, daß, im Gegensatz zu „klassischen" Reglern, denen aus dem Regelungsverhalten abgeleitete ökonomische Kenngrößen (bei gleichbleibender Prozeß- und Signalcharakteristik) gewissermaßen als „Maschinenkonstanten" zugeordnet werden können, bei Beratungssystemen solche Kenngrößen durch den Anwender in zweierlei Hinsicht beeinflußt werden; zum einen hängt das Regelungsverhalten von der momentan verwendeten Wissensbasis ab, zum anderen kann er von den Steuervorschlägen des BS abweichend reagieren.

Bei regelverarbeitenden Steuerungssystemen besteht ein wesentlicher Unterschied zu den von der Informatik vorgestellten darin, daß in Aktionen (Handlungsfolgen zur Steuerung des dynamischen Verhaltens) nicht zwangsläufig bei zyklischer Wiederholung der Regelverarbeitung abgeschlossen sind, woraus gerade die theoretisch ungeklärten Verfahrensweisen bei Unterbrechung und Fortsetzung von Regelaktionen entstehen.

Aber auch andere, grundsätzliche Fragen sind nicht gelöst. Zum Beispiel ist ungeklärt, anhand welcher Kriterien die Zweckmäßigkeit einer Regel, sowohl vorab, als auch nach einer Analyse des Regelungsverhaltens, beurteilt werden kann. Auch die Überprüfung der Regelmenge auf Vollständigkeit, d. h. die Klärung der Frage, ob in bestimmten Situationen tatsächlich keine Handlungen nötig sind, oder nur die entsprechenden Regeln fehlen, stellt durchaus kein triviales Problem dar. Eine Überprüfung würde erfordern, daß von den Experten alle Situationen, bei denen Steuerungen nicht erforderlich sind, durch entsprechende Regeln erfaßt werden müßten. Angesichts der multiplikativ mit der Alternativenzahl jedes betrachteten Merkmals wachsenden Anzahl möglicher Prozeßsituationen (im Anwendungsfall sind dies „nur" 80312) erscheint dies nicht praktikabel.

Zusammenfassung

Am Beispiel eines regelbasierenden Beratungssystems zur Tunnelofensteuerung werden einige Aspekte der Entscheidungsunterstützung durch solche Systeme innerhalb der operativen Steuerung erläutert und der Entwurf bei a-priori vorliegendem Wissen und vorgegebenen Einsatzanforderungen diskutiert. Es werden die mit dem Entwurf zusammenhängenden softwaretechnologischen Fragen, die Wissensrepräsentationsform, die Regelverarbeitung und die in den Regeln verwendeten Merkmale der gesteuerten Größen (wie Signalbereich und -tendenz) behandelt. Abschließend wird auf den simulativen Test des entworfenen BS eingegangen und es werden offene theoretische Probleme erörtert. Über die Erfahrungen bei der Kopplung des BS mit einem Tunnelofen, die Dialoggestaltung und die Ergebnisse des On-line-Tests am Ofen wird zu gegebener Zeit berichtet.

Literatur

[1] Trybus, L.; Wysocki, M.; Lukasiewicz, I.: Optimale Steuerung von Tunnelöfen beim Porzellanbrennen. rt 31 (1983) 6, S. 182—188.

[2] Dörschel, U.: Prozeßrechneranlage zur vorausschauenden Steuerung und Regelung eines Tunnelofens. Sprechsaal 118 (1985) 4.

[3] Leisenberg, W.: Neuere Entwicklungen bei der rechnergeführten Steuerung von Tunnelöfen. Sprechsaal 118 (1985) 10.

[4] Böhme, D.; Wernstedt, J.: Entwurfskonzepte für Beratungssysteme zur Lösung kybernetischer Aufgaben. msr, Berlin 30 (1987) 12, S. 535—539.

[5] Böhme, D.: Ein Beitrag zur Steuerung und operativen Führung von Prozessen mittels Klassifikationsverfahren. Dissertation A, TH Ilmenau 1985.

[6] Ahnert, G.; Locke, M.: Zur unscharfen Steuerung und Modellierung des An- und Abfahrens eines komplexen verfahrenstechnischen Prozesses. 30. Internat. Wiss. Kolloquium der TH Ilmenau, Oktober 1985, Reihe A, Heft 1, S. 11—14.

[7] Haspel, D. W.; Taylor, R. A.: Strategien zur Ofenüberwachung. Zement-Kalk-Gips 29 (1986) 4, S. 183—185.

[8] Holmblad, L. P.: Experience with automatic kiln control applying computers and fuzzy logic. Zement-Kalk-Gips 29 (1986) 9, S. 493.

[9] Bieker, B.; Schmidt, G.: Fuzzy Regelungen und linguistische Regelalgorithmen — eine kritische Bestandsaufnahme. at 33 (1985) 2, S. 45—52.

[10] King, P. J.; Mamdani, E. H.: The application of fuzzy control systems to industrial processes. Automatica 13 (1977) S. 235—242.

[11] Bieker, B.: Wissenserwerb und -akquisition für Expertensysteme zur Prozeßregelung. at 33 (1985) 9, S. 295—296.

[12] Lunze, J.: Wissensbasierte Systeme, Teil 2: Einsatzmöglichkeiten in der Automatisierungstechnik. msr, Berlin 30 (1987) 11, S. 502—508.

[13] Indica, N. R.: Expertensysteme. rtp 26 (1984) S. 402—407.

[14] Früchtenicht, H. W.; Wittig, T.: Ein Ansatz für Echtzeit-Expertensysteme. atp 29 (1987) 2, S. 79—82.

[15] Böhme, D.; Hoffmeyer-Zlotnik, H.-J.; Winkler, W.: Theoretische Grundlagen und Konzeption des Beratungssystems Tunnelofensteuerung. Forschungsbericht, TH Ilmenau 1988.

[16] Böhme, D.; Hoffmeyer-Zlotnik, H.-J.; Winkler, W.: Auswertung aktiver Experimente am Tunnelofen. Forschungsbericht, TH Ilmenau 1987.

msr 8938

In eigener Sache

Wir suchen einen Fachredakteur für unsere Zeitschrift, der in oder bei Berlin über Wohnraum verfügt. Er sollte ein abgeschlossenes Hochschulstudium in der Fachrichtung Technische Kybernetik/Automatisierungstechnik oder in einem angrenzenden Gebiet (z. B. Technische Informatik oder Elektrotechnik/Elektronik) und gute Kenntnisse der deutschen Sprache haben.

Seine Aufgaben umfassen:

— redaktionelle und fachliche Bearbeitung von Manuskripten
— Besuch und Auswertung von Fachtagungen, -messen und -ausstellungen
— fachbezogene journalistische Tätigkeit.

Interessenten wenden sich bitte an:

VEB Verlag Technik
Oranienburger Str. 13/14
Berlin
1020

Redaktion „messen · steuern · regeln"
Tel.: 2 87 03 62
2 87 03 74

R. Friedrich, M. Hochhaus, J. Schütte

Zur Anwendung von klassischen und Fuzzy-Algorithmen für Aufgaben der Produktionskoordinierung in einem Chemiebetrieb

0. Einleitung

Die Aufgaben der Produktionskoordinierung sind ein integraler Bestandteil der operativen Leitungs- und Lenkungstätigkeit zur unmittelbaren Produktionsdurchführung in einem Chemiebetrieb. Wie gut diese Tätigkeit durch rechnergestützte, automatisierte Lösungen effektiviert werden kann, hängt u. a. davon ab, mit welchen mathematischen Algorithmen und Methoden das gegebene Problem behandelt wird.

Dabei bestimmt der Charakter des Automatisierungsobjektes maßgeblich die Problemlösung. Im vorstehenden Fall handelt es sich um sog. technologische Verbundsysteme. Die Analyse solcher technologischer Strukturen, die für die großen Chemiebetriebe typisch sind, zeigt, daß sich die Koordinierungsaufgaben im Kern oft als Verteilungsaufgaben unterschiedlicher Kompliziertheit formulieren lassen.

Für die Modellierung derartiger Lenkungsaufgaben wurden verschiedene Ansätze entwickelt und dem Nutzer (dem Dispatcher oder zuständigen Leiter) in Form von rechnergestützten Entscheidungs-/Beratungshilfen zur Verfügung gestellt [1] bis [3].

Die Resonanz beim Anwender ist differenziert und wird nicht zuletzt davon bestimmt, wie es ihm mit der entwickelten Software gelingt, ein konkretes Verteilungsproblem objekt- und situationsgerecht unter Beachtung vieler Nebenbedingungen zu lösen. Im folgenden sollen mögliche Vorgehensweisen zur Modellierung und Algorithmierung von operativen Verteilungsaufgaben vorgestellt und diese einer vergleichenden Betrachtung unterzogen werden.

1. Verteilungsaufgaben in technologischen Verbundsystemen

Die Struktur eines chemisch-technologischen Verbundsystems wird durch die stoffliche Verflechtung von verschiedenen Produktionsanlagensystemen bestimmt. Die Kopplung solcher Produktionsabschnitte (*PA*) zum Gesamtsystem erfolgt über die Eingangs- bzw. Ausgangsströme der Rohstoff- bzw. Produktmedien. Als Koppelelemente werden in begrenztem Umfang Medienspeicher in Form von Tanks, Bunkern oder Gasometern vorgesehen, um flexible Fahrweisen der vor- und nachgeschalteten Stufen realisieren zu können. Die produktseitige Verflechtung wird durch notwendige Hilfsstoff- und Energieversorgungsnetze ergänzt. Diese Netze, im Bild 1 stark

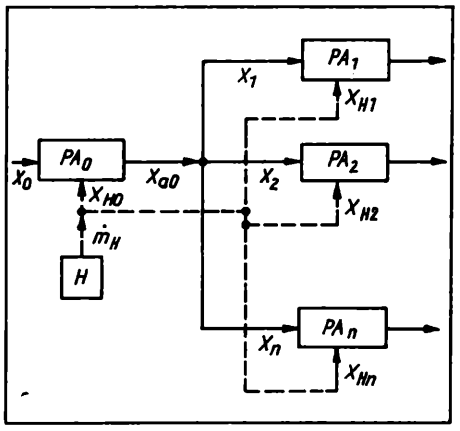


Bild 1. Typisches Stoffverteilungsproblem

vereinfacht für einen Stoff *H* dargestellt, sind ihrerseits komplexe Verflechtungssysteme.

Neben der ausgeprägten stofflichen und energetischen Kopplung ist ein hierarchisch strukturiertes Leitungssystem vorhanden, das den technologischen Verbund in Zuständigkeitsbereiche, wie Betriebsdirektionen, Produktionsabteilungen und -abschnitte, zerlegt.

Kommt es zu Änderungen im normalen Produktionsablauf aufgrund von äußeren oder inneren Störeinflüssen, so haben diese eine unterschiedliche Flächenwirkung im System. Zugleich erfordert dies differenzierte Reaktionen des Lenkungssystems zur effektiven Begegnung der Störungen. In solchen Situationen sind zwei Typen von Verteilungsproblemen formulierbar:

1. die Festlegung der Produktdurchsätze sowie der Hilfsstoff- und Energieströme durch operative Umverteilung für eine begrenzte Anzahl von unmittelbar verkoppelten *PA* (lokales Verteilungsproblem)
2. die Ermittlung einer operativen Fahrweise für das komplexe Verbundsystem unter Einbeziehung sämtlicher Teilproduktverteilungen mit ihrer technologischen Verflechtung (globales Verteilungsproblem).

Welches Verteilungsproblem zu lösen ist, hängt nicht zuletzt vom Entscheidungsträger und dessen Verantwortungsbereich ab.

A: Werksebene

Typisch sind globale Verteilungsprobleme für größere Operativzeiträume T_{op} (Schicht, Tag, Dekade) zur Ermittlung planmäßiger Fahrweisen des Gesamtsystems für bekannte oder vorhersagbare Störungen. Lokale Verteilungsprobleme treten operativ innerhalb von T_{op} auf und sind für einzelne Produktströme an zentralen Lenkungsschnittstellen besonders bei Auftreten nicht vorhersagbarer Störungen, z. B. bei Rohstoff- oder Anlagenausfällen, zu lösen.

Die Reaktion in lokalen Verteilungen erfordert auf dieser Ebene oft eine nachfolgende globale Analyse der Störauswirkungen auf die planmäßige Fahrweise.

B: Betriebsebene

In Abhängigkeit von der Dimension des Verbundsystems sind auf dieser Leitungsebene globale und lokale Verteilungsprobleme wie unter A relevant.

Eine Besonderheit bilden Energieverteilungsprobleme, die in der Praxis einem Leitungsbereich zugeordnet sind. Hier treten für ein Medium sowohl lokale Probleme in der Energieerzeugung (Lastverteilung) als auch globale Probleme bei der Energiestromabnahme auf.

Dr.-Ing. ROLAND FRIEDRICH (35) studierte von 1971 bis 1976 am Moskauer Institut für Chemischen Maschinenbau an der Fakultät für Technische Kybernetik die Fachrichtung Automatisierung chemisch-technologischer Prozesse. Danach wissenschaftlicher Assistent an der Technischen Hochschule „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg, WB Automatisierungstechnik. Seit 1981 Mitarbeiter der Direktion Forschung und Entwicklung des Kombinates VEB Chemische Werke Buna, zunächst als Entwicklungsingenieur für Produktionssteuerung, dann als Gruppenleiter. Seit 1984 Leiter der Forschungsabteilung Prozeßmodellierung und -steuerung im KCWB. 1983 Promotion A. Seit 1986 Vorsitzender des FA „Operative Lenkung der Produktion" der WS Automatisierungstechnik im FV Chemische Technik der KDT.

Dipl.-Math. MARTINA HOCHHAUS (34) studierte von 1973 bis 1978 an der Sektion Mathematik und Rechentechnik der Technischen Hochschule „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg und war anschließend bis 1981 als Forschungsstudent tätig. Seit 1981 Mitarbeiter der Direktion Forschung und Entwicklung des Kombinates VEB Chemische Werke Buna auf dem Fachgebiet der automatisierten Produktionssteuerung, seit 1987 dort als Spezialist für Produktionsoptimierung.

Dr.-Ing. JOCHEN SCHÜTTE (34) studierte von 1971 bis 1975 an der Technischen Hochschule „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg, Sektion Verfahrenstechnik. Anschließend Assistent im WB Automatisierungstechnik der gleichen Einrichtung. 1981 Promotion A zur Situationsvorhersage in verfahrenstechnischen Prozessen. Seit 1982 Oberassistent.

C: Abteilungsebene

Je nach Kompliziertheit der technologischen Verfahren liegen lokale Verteilungsprobleme für einzelne Produktströme (Kapazitätsverteilung) und oft für den Hilfsstoff- und Energiestromeinsatz in einzelnen Verfahrensstufen vor.

Für die Formulierung der mathematischen Aufgabenstellung zur Lösung eines konkreten Verteilungsproblems ist eine technologisch orientierte Systemanalyse und gleichzeitig die Analyse der Erfahrungen der Experten (Dispatcher, Leiter) durchzuführen. Damit sollen die notwendigen verfahrenstechnischen, ökonomischen und leitungsmäßigen „Verteilungsbedingungen" herausgearbeitet werden.

2. Formulierung eines Verteilungsproblems

Im Bild 1 ist die Verteilung eines Stoffstroms, erzeugt im Produktionsabschnitt PA_0, auf verschiedene Abschnitte PA_1 bis PA_n dargestellt. Für die folgenden Betrachtungen soll der Durchsatz durch einen Produktionsabschnitt PA_i stets durch seinen Eingangsstrom x_i charakterisiert werden. Für den zugehörigen Ausgangsstrom x_{ai} wird, wie allgemein üblich, ein proportionaler Zusammenhang angenommen:

$$x_{ai} = a_i \cdot x_i; \qquad i = 0\,(1)\,n. \tag{1}$$

Das Modell der dargestellten Verteilungsaufgabe beinhaltet dann die Bilanzgleichungen für den zu verteilenden Strom

$$\dot{m} = x_{a0} = \sum_{i=1}^{n} x_i \tag{2}$$

und für den Hilfsstoffstrom

$$\dot{m}_H = \sum_{i=0}^{n} x_{Hi} \tag{3}$$

mit

$$x_{Hi} = h_i \cdot x_i \tag{4}$$

sowie Nebenbedingungen in Form von expliziten Restriktionen für die minimalen und maximalen Anlagendurchsätze

$$x_{i\,min} \leqq x_i \leqq x_{i\,max}; \qquad i = 0\,(1)\,n, \tag{5}$$

die im Raum der Anlagendurchsätze einen zulässigen Lösungsbereich Z definieren.

Grundlage für jede Festlegung der Produktströme x_i ist ihre Bewertung mit Hilfe einer Teilzielgröße

$$y_i = y_i(x_i); \qquad i = 0\,(1)\,n. \tag{6}$$

Diese Teilziele werden zu einer Gesamtzielfunktion in der allgemeinen Form

$$\underset{x_i;\, x \in Z}{\text{Extremum}}\ F(y_0(x_0), \ldots, y_n(x_n)) \tag{7}$$

zusammengefaßt.

Die Bedingungen (2) und (5) sind für jedes Verteilungsmodell relevant; (3) und (4) sind häufig zu berücksichtigen. Eine Erweiterung der Bilanzbedingungen für globale Verteilungsprobleme bzw. für mehrere Hilfsstoffnetze ist analog durchführbar. Grundsätzlich handelt es sich hierbei um statische Beziehungen, deren Gültigkeit für einen vorgegebenen Operativzeitraum T_{op} festzulegen ist. Im Verteilungssystem existierende Speicher müssen berücksichtigt werden, falls sich während T_{op} ihr Inhalt ändern kann oder soll. Dies kann durch die Einführung zusätzlicher Stoffströme geschehen, für die ebenfalls Begrenzungen gelten. Letztere ergeben sich aus dem momentanen Speicherinhalt, den Grenzen des Speicherinhalts sowie T_{op}.

Mit der Behandlung der Speicher ist eine Reihe von Problemen verbunden, die aber für die folgenden Betrachtungen nicht von unmittelbarer Bedeutung sind, weshalb hier nicht weiter darauf eingegangen werden soll [1].

Somit konzentrieren sich die wesentlichen Unterschiede in den Problemlösungen der Verteilungsaufgaben auf die verschiedenen Ansätze für die Modellierung der Teilzielgrößen $y_i(x_i)$ in (6) und den funktionellen Zusammenhang F in (7), die im folgenden näher untersucht werden sollen.

2.1. Verteilungsmodelle mit ökonomischer Bewertung

Bei dieser Vorgehensweise werden zur Bewertung der Fahrweise eines Produktionsabschnitts ökonomisch begründete Kriterien herangezogen (Gewinn, Kosten, Warenproduktion). Dies führt i. allg. zu einer linear vom Durchsatz abhängigen Bewertungsfunktion für die einzelnen Produktionsabschnitte

$$y_i = k_i \cdot x_i + f_i. \tag{8}$$

Die Zusammenfassung der Gesamtzielfunktion ist dann eine einfache Summenbildung.

Diese klassische Linearoptimierungsaufgabe wird üblicherweise mit dem Simplexverfahren gelöst. Beispiel hierfür ist die Anwendung der Komplexmethode [4]. Der Stand der heutigen Rechentechnik ermöglicht es, komplexe und hochdimensionale Probleme zeitgünstig damit zu bearbeiten.

Die Lösungswerte der Durchsätze für die einzelnen Produktionsabschnitte liegen stets auf dem Rand des zulässigen Bereiches, d. h., einige Anlagen fahren mit maximaler, einige mit minimaler Last und nur bei einer Anlage liegt diese zwischen dem minimalen und dem maximalen Wert.

2.2. Verteilungsmodelle mit Solldurchsätzen

Bei diesem Modellansatz wird davon ausgegangen, daß es für jede Anlage einen anzustrebenden Durchsatzwert x_{i0} gibt. Dieser Durchsatz kann im Einzelfall sowohl durch Anlageneigenschaften (Verschleiß, Ausbeute, spezifischer Energieverbrauch u. a.) als auch durch Planvorgaben bzw. Ergebnisse übergeordneter Verteilungsentscheidungen festgelegt sein.

Die Verteilung hat nun so zu erfolgen, daß die Abweichungen von diesen Sollwerten möglichst klein sind. Das führt zu folgendem Gesamtzielfunktionsansatz

$$F = L(x_i, \lambda_1, \lambda_2) = \sum_{i=0}^{n} b_i (x_i - x_{i0})^2 + \lambda_1 \left(\dot{m} - \sum_{i=1}^{n} x_i \right) + \lambda_2 \left(\dot{m}_H - \sum_{i=0}^{n} x_{Hi} \right) \tag{9}$$

Zur Lösung wird ein modifizierter Lagrange-Algorithmus nach MINSKER/TANJUK [5] eingesetzt. Wegen der bestehenden Kapazitätsbeschränkungen muß der Algorithmus unter Umständen iterativ angesetzt werden, doch ist gesichert, daß nach einer endlichen Zahl von Durchrechnungen (höchstens n Zyklen) eine Lösung gefunden wird.

Die Lösung ist dadurch gekennzeichnet, daß die berechneten Fahrweisen in der Nähe der vorgegebenen Sollwerte liegen und nur bei ungünstigen Ausgangsbedingungen Lösungswerte auf den Kapazitätsbeschränkungen ermittelt werden.

Während die Durchsatzsollwerte x_{i0} bei jeder neuen Entscheidungsfindung vom Dispatcher festzulegen sind, müssen die Wichtungsfaktoren b_i von vornherein vorgegeben werden. Über sie läßt sich steuern, inwieweit die einzelnen Produktionsabschnitte von ihren Sollwerten abweichen dürfen, d. h., durch die b_i werden Reduzierungen (oder Heraufsetzungen) der Durchsätze verschiedener PA vergleichbar gemacht. Ihre konkrete Festlegung kann erfolgen

1. aufgrund ökonomischer Betrachtungen
2. aufgrund von Befragungen der Experten (Dispatcher, zuständige Leiter)
3. aufgrund einer Auswertung der üblichen Fahrweise des betrachteten PA.

2.3. Verteilungsmodelle mit unscharfer Bewertung

Bei dieser Modellierung des Verteilungsproblems werden die Ziele und Nebenbedingungen auf der Basis unscharfer Mengen beschrieben. (Zum Begriff der unscharfen Menge siehe [6]). Ähnliche Überlegungen wie bei den Verteilungsmodellen mit Idealdurchsätzen führen zur Definition einer Zugehörigkeitsfunktion für den „günstigen Anlagendurchsatz" (s. dazu [3]). Diese Zugehörigkeitsfunktion gilt für den Normalbetrieb (Bild 2). Daneben ist es denkbar, daß bei charakteristischen Störungen in der Anlage zeitweilig eine andere Zugehörigkeitsfunktion Gültigkeit erlangen kann. Die so formulierten Zugehörigkeitsfunktionen sind dabei identisch mit den in (6)

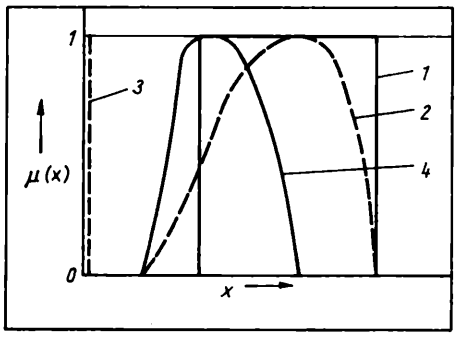


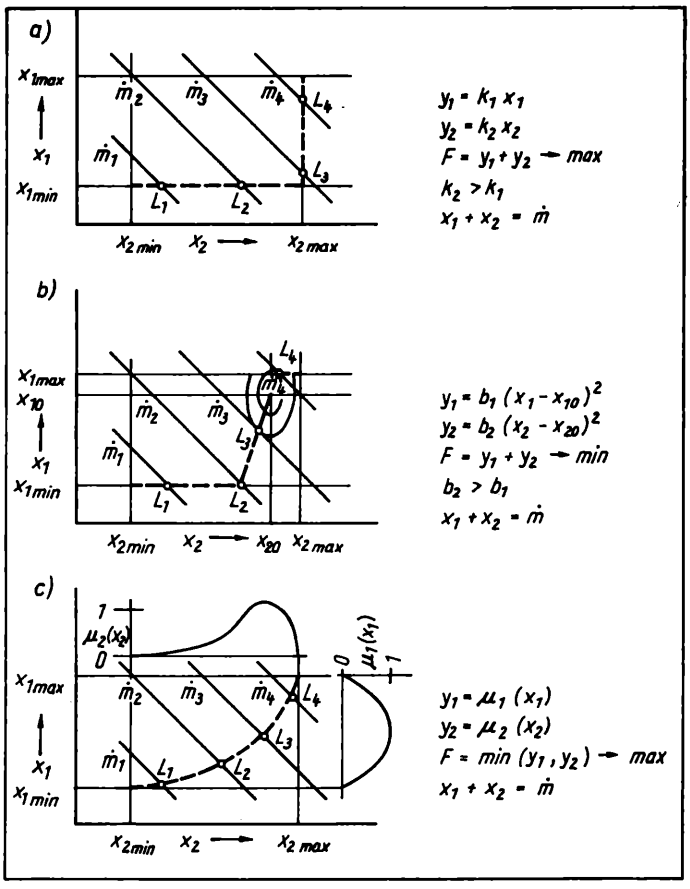
Bild 2. Zugehörigkeitsfunktionen für günstige Anlagendurchsätze
1 scharfes Intervall (zum Vergleich); *2* günstiger Durchsatz; *3* Totalausfall; *4* spezielle Störung

eingeführten Teilzielgrößen. Für ihre Zusammenfassung zur Gesamtzielfunktion gibt es in der unscharfen Optimierung verschiedene Möglichkeiten. Eine häufig angewandte Kombination der Teilziele ist die folgende

$$F = \min_i (\mu_0(x_0), \ldots, \mu_n(x_n)) \rightarrow \max_{x_i;\, x \in Z} . \qquad (10)$$

Wenn man sich bei der Festlegung der Zugehörigkeiten auf parametrische Konzepte stützt [6], bereitet die Lösung des so entstehenden Optimierungsproblems keine größeren Schwierigkeiten.
Einige wichtige Eigenschaften der Lösung sollen erläutert werden. Mit der Lösung sind nicht nur die Variablenwerte x_i bekannt, sondern es liegen auch die entsprechenden Werte der Zugehörigkeitsfunktionen vor. Dabei gilt, unter der Voraussetzung eines Zielfunktionsansatzes wie in (10) gegeben, daß bei einem Teil der Durchsätze der Wert $\mu_i(x_i)$ gleich dem Zielfunktionswert aus (10) ist. Diese Variablen sind im gegebenen Fall kritische in der Hinsicht, daß die für sie formulierten Forderungen einander widersprechen. Diese Informationen bieten eine gute Basis, um im Dialog mit dem Entscheidungsträger die gefundene Lösung weiteren, nicht von vornherein formulierbaren Vorgaben anzupassen.

Bild 3. Lösungen eines trivialen Verteilungsproblems für verschiedene Verteilungsmodelle
a) Verteilung mit ökonomischer Bewertung; b) Verteilung mit Solldurchsätzen; c) Verteilung mit unscharfer Bewertung



3. Vergleich der Verteilungsmodelle

Die unterschiedlichen Eigenschaften der Verteilungsmodelle werden deutlich, wenn man den einfachsten denkbaren Fall der Verteilung eines Stoffstromes auf zwei *PA* ohne zugehörige Hilfsenergieverteilung näher untersucht. Dabei soll angenommen werden, daß der zu verteilende Strom $x_{a0} = \dot{m}$ fest vorgegeben ist. Je nach der Größe von $\dot{m}$ und nach der Wahl eines der drei angegebenen Verteilungsmodelle ergeben sich dann verschiedene Lösungen für die Verteilungsaufgabe, die im Bild 3 dargestellt sind.
Zunächst ist festzustellen, daß alle drei Modelle grundsätzlich nur Lösungen vorschlagen, die die bestehenden Beziehungen zwischen den einzelnen Strömen (Massenerhaltungssatz) berücksichtigen und die innerhalb des zulässigen Gebiets liegen. Dies ist bei dem hier gewählten Beispiel trivial. In den praktisch auftretenden, komplizierteren Verteilungsfällen jedoch, insbesondere, wenn zur Rohstoffverteilung noch Hilfsstoff- oder Hilfsenergiebeschränkungen hinzukommen, ist es für den Dispatcher bereits ein Problem, überhaupt eine Stromverteilung zu finden, die diesen elementaren Forderungen genügt. Die Berücksichtigung weitergehender Vorgaben ist dann von ihm nur schwer realisierbar. Die beschriebenen Verteilungsmodelle unterscheiden sich gerade darin, welche zusätzlichen Ziele bei der Verteilung verfolgt werden und in der Art und Weise der Berücksichtigung dieser Ziele.
Bei ihrem Vergleich ist zunächst festzustellen, daß ein prinzipieller Unterschied zwischen dem Verteilungsmodell mit ökonomischer Bewertung einerseits und den beiden anderen andererseits besteht. Vorteile des erstgenannten sind der direkte Ausweis der ökonomischen Wirksamkeit der vorgeschlagenen Verteilung sowie die Tatsache, daß bei notwendigen Neuverteilungen nur wenige *PA* in ihren Durchsätzen zu verändern sind. Nachteilig ist, daß die Mehrzahl der *PA* überwiegend in technologischen Grenzbereichen gefahren wird. Werden, um dem zu entgehen, die zulässigen Durchsatzbereiche eingeengt (auf den technologisch günstigen Bereich), so geht damit ein Teil des Steuerbereichs verloren, der in extremen Situationen bei der Reaktion auf plötzlich auftretende nicht ausregelbare Störungen benötigt wird. Dies kann zur Folge haben, daß gerade in diesen Situationen, in denen der Dispatcher auf schnelle Unterstützung angewiesen ist, die Entscheidungshilfe versagt, weil die Linearoptimierungsaufgabe im mathematischen Sinne keine zulässige Lösung besitzt. Ein solches Verhalten einer Entscheidungshilfe wird aber von den Nutzern nicht akzeptiert werden. Die Verteilungsmodelle mit Solldurchsätzen und die unscharfen Verteilungsmodelle stellen nur Varianten eines im Prinzip gleichartigen Vorgehens dar. Ihre Vor- und Nachteile decken sich weitgehend und sind konträr zu denen der ökonomisch begründeten Verteilungsmodelle.
Die beiden letzten Verteilungsmodelle haben dabei den Vorteil, daß über die Parameter b_i bzw. die Zugehörigkeitsfunktionen μ_i bei der Entwicklung einer rechnergestützten Entscheidungshilfe für eine konkrete Verteilungsaufgabe Expertenerfahrungen ebenso wie Leitungsfestlegungen eingearbeitet werden können. Alle drei Verteilungsmodelle bieten prinzipiell die Möglichkeit, die erhaltene Lösung, falls der Dispatcher diese nicht akzeptiert, durch Veränderung von Vorgaben weiter zu bearbeiten, solange, bis sie den Vorstellungen des Entscheidungsträgers entspricht. Dies kann notwendig sein,

1. weil unter Umständen nicht alle in einer konkreten Entscheidungssituation für den Dispatcher relevanten Zielvorstellungen in der Entscheidungshilfe berücksichtigt sein werden
2. weil vielleicht der Dispatcher Zielvorstellungen formuliert hat, die bei der gegebenen Verkopplung der einzelnen *PA* nicht erfüllbar sind.

Diese Situation tritt vor allem bei den beiden zuletzt eingeführten Verteilungsmodellen auf, da nur dort operativ durch den Dispatcher „lokale" Ziele für die einzelnen *PA* formuliert werden können, während bei der Verteilung nach ökonomischer Bewertung solche Zielvorstellungen prinzipbedingt nicht zu berücksichtigen sind. Diese können hier nur durch eine nachträgliche geeignete Manipulation an den aktiven Grenzen des zulässigen Bereichs einbezogen werden.

Von den Nutzern solcher Entscheidungshilfen wird die Möglichkeit der direkten Vorgabe von Wünschen für die einzelnen PA-Durchsätze in der Regel eher akzeptiert als die Notwendigkeit einer Manipulation an den Grenzen des zulässigen Bereichs. Dies wird durch Erfahrungen belegt, die bei der Lösung verschiedener lokaler und globaler Verteilungsprobleme sowohl auf Werks- als auch auf Betriebsebene im Kombinat Chemische Werke Buna mit solchen rechnergestützten Entscheidungshilfen gesammelt werden konnten. Besondere Vorteile hat hierbei das Verteilungsmodell mit unscharfer Bewertung, da es mit ihm möglich ist, über verbale Eingaben, wie „etwas größer", „viel kleiner", „ungefähr gleich", auf sehr einfache und anschauliche Weise Vorgaben zu machen, was von den Nutzern der Entscheidungshilfe i. allg. begrüßt wird.

Aus den genannten Eigenschaften folgt eine besondere Eignung der ökonomisch begründeten Verteilungsmodelle für globale Probleme bei größeren Operativzeiten (Tage, Dekaden, Monate) für die Planungs- und Analysetätigkeit, unter Umständen bei eingeschränktem Durchsatzbereich (technologisch günstiger Bereich), und entsprechend eine Eignung der beiden anderen Modelle für lokale Probleme und, soweit es der größere Rechenaufwand ermöglicht, auch für globale Probleme bei kürzeren Operativzeiten (Stunden, Schichten) unter Berücksichtigung des vollen Aussteuerbereichs der technologischen Anlagen.

Zusammenfassung

Bei der Lösung von Aufgaben der Produktionskoordinierung in größeren Chemiebetrieben kommt rechnergestützten Entscheidungshilfen eine zunehmende Bedeutung zu. Im Beitrag werden verschiedene Ansätze zur Lösung der dabei auftretenden Verteilungsprobleme verglichen. Dabei zeigt sich, daß die auftretende Vielfalt der Aufgaben in ihrer Gesamtheit nicht mit einem universellen Ansatz zu bewältigen ist. Mit den beschriebenen Methoden lassen sich aber, wie aus im Kombinat Chemische Werke Buna gesammelten Erfahrungen hervorgeht, bei Beachtung der jeweiligen konkreten Bedingungen des Verteilungsproblems viele praktisch auftretende Aufgaben zufriedenstellend lösen.

Literatur

[1] Sokollik, F.; Brack, G.: Hierarchische Steuerungen zur operativen Lenkung großer Systeme. msr, Berlin 27 (1984) 5, S. 194—197.
[2] Friedrich, R.; Hörig, H.-J.: Zum Entwurf von rechnergestützten Dispatcheraufgaben in einem Chemiebetrieb. Chemische Technik 38 (1986) 10, S. 416—419.
[3] Schütte, J.: Unscharfe operative Lenkung komplexer verfahrenstechnischer Produktionssysteme. Wiss. Zeitschrift d. TH Ilmenau 33 (1987) 6, S. 173—180.
[4] Lassmann, V.; Kummerow, E.: Produktionsplanoptimierung. Berlin: Verlag Die Wirtschaft 1977.
[5] Friedrich, R.; Hochhaus, M.: Vergleich zweier Optimierungsmethoden für Verteilungsprobleme bei der operativen Lenkung der Produktion. In: Kurzreferate der 15. Jahrestagung Grundlagen der Modellierung und Simulationstechnik, Rostock, 10. bis 12. Dezember 1986.
[6] Bocklisch, S. F.: Prozeßanalyse mit unscharfen Verfahren. Berlin: VEB Verlag Technik 1987.
msr 8927

J. Ester, A.-M. Schiffer

Interaktives Entscheidungssystem

0. Einleitung

Es gibt viele Ursachen dafür, daß „Interaktive Entscheidungssysteme" („Systeme zur rechnergestützten Entscheidung", engl. „Decision Support Systems" — DSS) zunehmend in den Brennpunkt wissenschaftlichen Interesses rücken [1]. Damit verbunden ist eine stärkere Beachtung der Belange der angewandten Systemanalyse, da nur so, im Zusammenwirken mit Methoden der künstlichen Intelligenz (insbesondere mit Expertensystemen), eine leistungsfähige Software zur Lösung von Entscheidungsproblemen erstellt werden kann. Folgende Ursachen sollten explizit herausgearbeitet werden:

1. Die gesellschaftliche Entwicklung drängt auf allen Gebieten zur Effektivierung von Entscheidungsprozessen. Insbesondere betrifft dies wirtschaftliche Entscheidungen im Betrieb, im Kombinat und, darüber hinaus, Entscheidungen im Bereich der Planung und in der operativen Prozeßführung, in der technischen Vorbereitung, in der Erzeugnisentwicklung, in Entwurf und Konstruktion. Im Ergebnis dieser Entwicklung können hohe Erneuerungsraten und eine hohe Flexibilität erreicht werden [2].
2. In verstärktem Maße steht nunmehr Arbeitsplatzrechentechnik zur Verfügung. Durch Terminals ist vielfach der unmittelbare Zugriff zu noch leistungsfähigeren Systemen gegeben. In der Prozeßsteuerung entstehen Anlagen, die leistungsfähige Rechentechnik integrieren und damit viele Möglichkeiten der interaktiven Arbeitsweise für Dispatcher, Operator, Operativingenieur usw. in sich bergen [3].
3. Die auf allen Gebieten zu lösenden Entscheidungsaufgaben zeichnen sich immer mehr durch erhöhte Kompliziertheit und Komplexität aus. Sie zeichnen sich auch dadurch aus, daß Aspekte beachtet werden müssen, die über die traditionellen Fachgebiete hinausgehen und somit den einzelnen Fachmann überfordern. So werden technische Entscheidungen immer stärker durch wirtschaftliche Attribute, durch Attribute der Umweltfreundlichkeit, durch arbeitswissenschaftliche Aspekte u. a. determiniert.
   Auch lernt man immer mehr, die Langzeitwirkungen bestimmter Entscheidungen zu beachten und die Dynamik der Prozesse ins Kalkül zu ziehen.

Zusammengefaßt heißt das, daß gesellschaftliche Bedingungen heranreifen, die die Möglichkeiten zur Entwicklung von DSS in sich bergen und die andererseits dringend DSS erfordern. Ausgehend von der bereits sehr frühzeitigen Beschäftigung mit mehrkriteriellen Entscheidungsproblemen (Polyoptimierung) [4], dazugehörigen theoretischen Untersuchungen, Methoden- und Algorithmenentwicklun-

---

Prof. Dr. sc. techn. Jochen Ester (42) studierte von 1964 bis 1970 Regelungstechnik an der TH Karl-Marx-Stadt. Danach wiss. Mitarbeiter an der gleichen Einrichtung. 1975 Dissertation A zum Thema „Eine Kompromißstrategie zur statischen Optimierung additiver und vektorieller Gütekriterien". Von 1975 bis 1978 Arbeitsaufenthalt in Moskau am Institut für Steuerungsprobleme der AdW der UdSSR und am Internationalen Forschungsinstitut für Probleme der Leitung. Von 1978 bis 1981 Oberassistent an der Sektion Automatisierungstechnik der TH Karl-Marx-Stadt. 1979 Dissertation B zum Thema „Dialogverfahren als wichtiges Hilfsmittel bei der Lösung mehrkriterieller Optimierungsaufgaben". 1981 Berufung zum Dozenten für Technische Kybernetik. Seit 1985 Leiter des Wissenschaftsbereiches „Regelungs- und Automatisierungstechnik" an der Sektion Automatisierungstechnik der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt. Leiter der DDR-Arbeitsgruppe „Mehrkriterielle Entscheidung" der AdW der DDR. 1988 Berufung zum a. o. Professor.

Dipl.-Ing. Andreas-Michael Schiffer (30) studierte von 1980 bis 1985 Automatisierungstechnik/Technische Kybernetik an der TH Karl-Marx-Stadt. Seit 1981 arbeitete er im Wissenschaftlichen Studentenzirkel „Polyoptimierung/Mehrkriterielle Entscheidung" mit. Seit 1985 Forschungsstudent und mit der Weiterentwicklung von „POLYP" beschäftigt. Mitglied der DDR-Arbeitsgruppe „Mehrkriterielle Entscheidung" der AdW der DDR.

gen sowie dem ständigen Bemühen um deren praktische Erprobung, entstand das Programmsystem zur interaktiven Entscheidung POLYP [5]. Da in dieser Entwicklung auch viele Erfahrungen gesammelt werden konnten, kann man nun einige allgemeingültige Schlußfolgerungen für DSS ziehen, die im nächsten Abschnitt dargestellt werden.

1. Allgemeine Struktur und Komponenten interaktiver Entscheidungssysteme

Es sei vorausgeschickt, daß hier bewußt kein Unterschied zwischen Expertensystemen zur rechnergestützten Entscheidung und zur modellgestützten Entscheidung gemacht werden soll. Es wird deshalb der sehr einfache Standpunkt vertreten, daß jede Entscheidung eines Modells bedarf. Unter einem Modell ist ein eindeutiges Abbild der Realität im menschlichen Bewußtsein bei Erhaltung der wesentlichen Relationen zu verstehen. Damit erfüllt die Wissensbasis eines Expertensystems (im Zusammenspiel mit dem Regelinterpreter) durchaus die o. g. Definition eines Modells. Es sind lediglich Formfragen, Fragen der internen Organisation und der Bildung des Modells, die Unterschiede bedingen. Das ist keine Abwertung von Expertensystemen, die eine Verarbeitung deklarativen Wissens überhaupt erst effektiv möglich machen, sondern eine unter einem bestimmten kybernetischen Aspekt durchgeführte Funktionszuordnung.

Auch wollen wir nicht diskutieren, ob die in das Modell eingehenden Relationen „individueller" oder „gesamtgesellschaftlich anerkannter" Natur sind, ob sie aus „Erfahrungswissen" oder einer „Theorie" stammen.

Während im Bild 1 ein grobes Wirkungsschema für DSS dargestellt ist, bringt Bild 2 die Struktur eines DSS zum Ausdruck. Diese Struktur mit den dazugehörigen Elementen (Komponenten) ergibt sich aus allgemeinen Überlegungen und gesammelten praktischen Erfahrungen. Die dabei zu verzeichnende hohe Universalität ist bei praktisch ausgeführten DSS in der Regel nicht vorhanden und auch nicht angestrebt. Aber als Kern sind Methodenbasis und Objektmodellbasis immer vorhanden, auch wenn möglicherweise nur eine einzige Methode zur Verfügung steht, die immer auf das gleiche Objektmodell angewendet wird. Natürlich ist die (wie auch immer geartete) Komponente der Dialogführung vorhanden, da die Kommunikation des Entscheidungsträgers mit Methode und Modell gewährleistet sein muß. Die Komponente der Methodenbasis zur Objektmodellbildung (Computer Aided Modelling) ist in den meisten bisher bekannten DSS nicht vorhanden. Das bedeutet, daß diese wichtige Frage vorher — also vor dem Einsatz des DSS zur Lösung der Aufgabe — geklärt werden muß. Dies ist völlig legitim, da es schlechterdings nicht möglich sein wird, alle wichtigen Methoden der Modellbildung in das DSS zu integrieren. Aber Ausnahmen können durchaus zweckmäßig sein. Wenn nämlich, bedingt durch die Natur der zu bearbeitenden Probleme, nur einige sehr wenige effiziente Methoden der Modellbildung in Frage kommen, sind diese aus Gründen der Effektivität und Erhöhung der „Echtzeitfähigkeit" des DSS sinnvollerweise direkt einzubeziehen. Da die Modellbildung selbst aber auch als Entscheidungsprozeß aufgefaßt werden kann [6], schließt sich hier der Kreis.

Es soll noch vermerkt werden, daß die einzelnen Komponenten nicht unabhängig voneinander entwickelt werden können. Beispielsweise kann nicht jedes Objektmodell durch jede beliebige Methode der Entscheidungsfindung bearbeitet werden. Das ist auch die wesentliche Begründung dafür, daß vielfach die Objektmodellbasis mit der Methodenbasis der Entscheidungsfindung zur Entscheidungsmodellbasis [7] zusammengefaßt wird.

Das im Bild 2 dargestellte universelle DSS sollte als ein „Entwicklungssystem" oder „Rahmensystem" gesehen werden, das verschiedene Aufgaben erfüllen kann:

— Lernen des Umgangs mit den verschiedenen Methoden der Entscheidungsfindung
— Bestimmung der dem Entscheidungsträger und seinem Problem angemessenen Methode.

Danach kann man — falls dies noch notwendig wird (z. B. für die Entscheidungsfindung in operativen Steuerungen) — die wenigen Routinen, die dem speziellen Problem angepaßt sind, aus dem universellen DSS herauslösen. Dies wird in den meisten Fällen zu einer Erhöhung der Echtzeitfähigkeit des Entscheidungssystems beitragen. Der Grad der Kompliziertheit der Einzelmodelle, für den das Problem dann noch beherrschbar ist, wird sich dann gleichfalls erhöhen.

In diesem Sinne sehen die Autoren auch die weitere Entwicklung von DSS in bezug auf ihre Universalität bzw. Problembezogenheit.

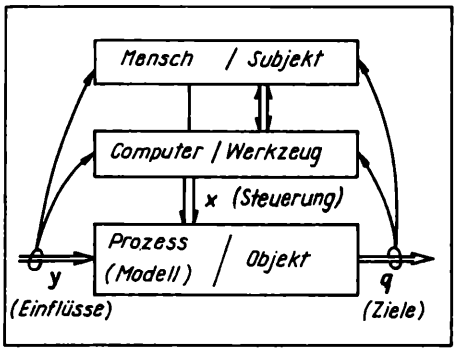
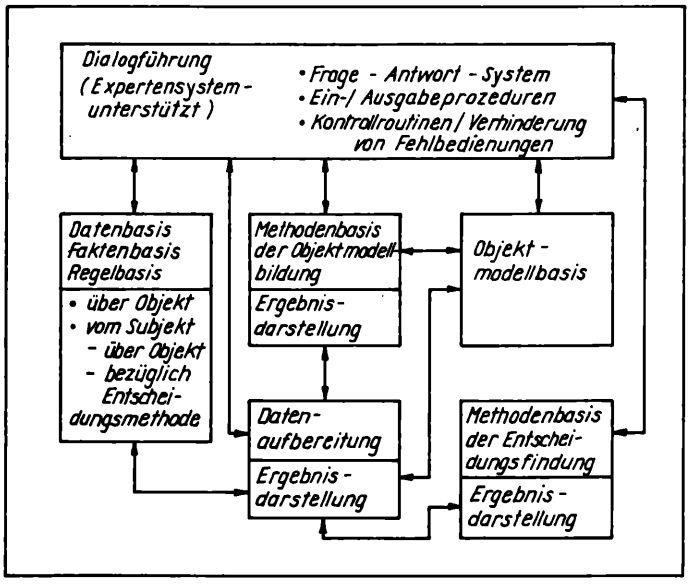


Bild 1. Allgemeines Prinzip für den Einsatz von DSS

Bild 2. Struktur und Komponenten eines DSS



2. POLYP — Ein Programmsystem zur interaktiven Entscheidung

Dieses Programmsystem liegt für 8-bit- und 16-bit-Personalcomputer vor. Es ist das Ergebnis einer langfristigen, die Forschung zur mehrkriteriellen Entscheidung begleitenden Arbeit. Während auf der einen Seite theoretische Untersuchungen durchgeführt und neue Methoden erdacht, übernommen und überprüft wurden, entstand jeweils ein neuer Modul für POLYP, der der Methodenbasis der Entscheidungsfindung zugerechnet werden muß. Günstig auf diese Entwicklung wirkte sich die praktische Zusammenarbeit mit Kollegen der Textiltechnologie aus, die ständig mit neuen, interessanten Aufgaben vorstellig wurden. Damit war die Praxisüberprüfung gewährleistet, und Fragen der Akzeptanz konnten am Problem geklärt werden. Akzeptanzprobleme traten nach und nach in den Hintergrund, weil der Methodenvorrat zunahm, die Methoden mit Hilfe der Anwender nutzerfreundlicher implementiert wurden und Modifikationen erfolgten. Mit der Zeit war die Einarbeitung der Nutzer soweit fortgeschritten, daß diese bereits mit konkreter Angabe der Methode ihr Problem gelöst haben wollten.

Zur historischen Entwicklung ist zu sagen, daß die ersten Moduln in ALGOL auf dem R 300 und in DIVA auf dem KRS 4200 programmiert wurden [8]. Seit dem Moment, als Bürocomputertechnik

zur Verfügung stand (A 5120, Betriebssystem SIOS), wurde die Implementierung in BASIC begonnen. Der in dieser Zeit entstandene Programmvorrat war so angewachsen, daß auch in der gegenwärtig verfügbaren 16-bit-Version die Implementierung in Turbo-BASIC erfolgt ist. Die Umarbeitung auf Turbo-PASCAL unter Einbeziehung von Expertensystemfunktionen ist vorgesehen.
Auf die Beschreibung der Dialogführung (mit Menü- und Fenstertechnik) soll hier verzichtet werden, obwohl gerade diese Probleme von nicht zu unterschätzender Bedeutung für die Anwendung sind. Das gleiche gilt — vielleicht noch in stärkerem Maße — für die Ergebnisdarstellung. POLYP ist dadurch gekennzeichnet, daß man, mit einem Minimum an Kenntnissen der Rechnerbedienung und Softwareerstellung auskommend, sein Entscheidungsproblem in die Objektmodellbasis einschreiben und mit Verfahren aus der Methodenbasis bearbeiten kann. Die Modellbildung wird gegenwärtig durch das System nicht unterstützt. Der Anwender muß damit sein Problem so aufbereitet haben, daß es als

a) Problem des mehrkriteriellen Variantenvergleiches
b) Problem der ein- und mehrkriteriellen nichtlinearen Optimierung
c) Problem der ein- und mehrkriteriellen linearen Optimierung

eingeordnet werden kann. Damit ist auch eine Zuordnung zur Methodenbasis erfolgt. Gleichzeitig bietet das System aber die Möglichkeit, über die so gesetzten Grenzen hinaus die Leistungsfähigkeit der Methodenbasis voll auszuspielen. Als Beispiele hierfür können genannt werden:

— Bei der Lösung von Optimierungsproblemen anfallende Varianten (Zwischenlösungen oder Lösungen, die beim Dialog erzeugt wurden) können sofort in den mehrkriteriellen Variantenvergleich übernommen werden.
— Das gleiche gilt für die Erzeugung von Referenzvarianten (z. B. des UTOPIA- oder des NADIR-Punktes), der Bestimmung von Startlösungen für andere Verfahren usw.
— Man kann interaktiv die Verfahren wechseln, die Dimension des Zielraumes ändern, Varianten streichen oder ergänzen usw.

Nun sollen die einzelnen Verfahren in Verbindung mit den durch sie bearbeitbaren Aufgabenklassen kurz beschrieben werden. Bewußt wird hier der Begriff „lösbare" Aufgabenklasse vermieden, denn ob das Ergebnis eines Algorithmus die Lösung darstellt, kann getrost der Beurteilung durch den Anwender überlassen werden. Ansonsten wäre POLYP kein interaktives Entscheidungssystem, sondern ein Paket von mehr oder minder effektiven Optimierungsprogrammen.

2.1. Verfahren für den mehrkriteriellen Variantenvergleich

2.1.1. Methoden zur Behandlung solcher Fälle, wo eine deterministische Entscheidungsmatrix A mit den Elementen a_{ij} vorliegt

Dabei bedeutet a_{ij} den bei der Wahl der Alternative i zu erwartenden Erfüllungsgrad für das Kriterium j. Folgende Methoden werden angeboten:

a) **Normierung** der Kriteriumsausprägungen auf das Intervall [0, 1]
Dies führt zur Beseitigung von Skalierungsproblemen und kann somit die Voraussetzung für die Anwendung anderer Verfahren sein.
b) **Ordnen** der Varianten nach ausgewählten einzelnen Kriterien
Dies verbessert die Übersichtlichkeit und das Zurechtfinden in der diskreten Menge. Man kann damit außerdem UTOPIA- und NADIR-Punkte berechnen.
c) **Bestimmung paretooptimaler Varianten** [2]
Damit kann oft schon eine wesentliche Einschränkung der Kardinalität der diskreten Variantenmenge erfolgen und es ist eine Analyse des Güteverhaltens des Entscheidungsobjektes möglich.
d) **Bestimmung einer unscharfen Paretomenge** [2]
Man kann bei dieser Prozedur auch noch solche Variaten in der Auswahlmenge belassen, die aufgrund des Wirkens von Störungen möglicherweise in ihren Kriteriumsausprägungen rein meßtechnisch oder durch Expertenschätzungen benachteiligt wurden.
e) **Vorwärtsfilterung** [9]
Hier wird eine diskrete Repräsentation der Variantenmenge berechnet, die mit einer vorgegebenen Anzahl von Repräsentanten globale Informationen über die Variantenmenge beinhaltet.
f) **Rückwärtsfilterung** [9]
Mittels der Rückwärtsfilterung kann eine vorgegebene Anzahl solcher Varianten bestimmt werden, die im Sinne eines zu wählendes Abstandsmaßes zu einer vorgegebenen Referenzvariante am nächsten oder am weitesten entfernt liegen.
g) **Goal-Berechnung** [9]
Mittels dieser Prozedur können die Varianten bestimmt werden, bei denen die Kriteriumsausprägungen in vorgegebenen Intervallen (goals) liegen.
h) **Berechnung von Nutzensfunktionen** [10]
Hier können den einzelnen Kriteriumsausprägungen zusätzliche Bewertungsfunktionen zugeordnet werden. Möglich sind konvexe, konkave und lineare Funktionen sowie Sprungfunktionen.
i) **Gruppenbildung** [6]
Sie kann angewendet werden, wenn bestimmte Kriterien nach inhaltlichen Gesichtspunkten zusammengefaßt werden können. Die Bündelung der Kriterien geschieht mit Hilfe der gewichteten linearen Superposition.
j) **Zweierkompromiß-Berechnung** [6]
Hier werden die Varianten hinsichtlich ausgewählter zweier Kriterien miteinander verglichen, wobei die im Sinne der linearen parametrischen Optimierung auftretenden Stabilitätsbereiche der Tangentialebene für Elemente, die auf dem Rand der konvexen Hülle oder wahlweise auf dem Rand der effizienten Hülle liegen, ausgegeben werden. Damit kann eine quantitative Auswertung der sog. „Erfolgsspinne" geschehen, indem diese Stabilitätsmaße bei der Entscheidung zusätzlich berücksichtigt werden.
k) **Verfahren unscharfer Dominanzmengen** [2]
Bei diesem Verfahren wird der Ordnungskegel der mehrkriteriellen Aufgabe als unscharfe Menge aufgefaßt und entsprechend der Theorie der unscharfen Mengen wird die Zugehörigkeit jeder Variante zur Menge der besten Lösungen hinsichtlich aller Kriterien berechnet. Diese Zugehörigkeit dient zur Erzeugung einer vollständigen Ordnung der Varianten.
l) **Prävalenzverfahren** [11]
Hier handelt es sich um ein sog. „Outranking"-Verfahren, das eine Untermenge der Varianten erzeugt, deren Elemente nicht schlechter als die ausgesonderten sind. Die Erzeugung dieser sog. Prävalenzrelation basiert gleichfalls auf der Anwendung der Theorie der unscharfen Mengen.

Bemerkungen:
Man kann sich leicht überlegen, daß es möglich ist, die Ergebnisse eines Verfahrens zur Berechnungsgrundlage eines anderen zu machen. Es sind fast alle Abfolgen gestattet und durch das Programmsystem leicht zu vollziehen.
Am kompliziertesten zu verstehen sind die Verfahren k) und l). Insbesondere ist es auch ein erhöhter Aufwand in bezug auf die Ausgangsinformationen, die diese Verfahren verlangen. Neben Wichtungskoeffizienten und Fehlerangaben, die auch bei anderen Verfahren benötigt werden, sind dies „Trade-offs" und Schwellwerte, die das Subjekt Entscheidungsträger charakterisieren und von letzterem abgefragt werden müssen.
Weiterhin ist zu bemerken, daß die Bearbeitung des Entscheidungsproblems in jeder beliebigen Bearbeitungsstufe abgebrochen werden kann, weil der Entscheidungsträger sich beispielsweise durch den Einsatz verschiedener Verfahren bereits einen solchen Überblick verschafft hat, daß er selbständig entscheiden kann.

2.1.2. Methode zur Behandlung solcher Fälle, wo ein Entscheidungsfeld B mit den Elementen b_{ijk} vorliegt

Dabei bedeutet b_{ijk} den bei der Wahl der Entscheidungsmöglichkeit i zu erwartenden Erfüllungsgrad für das Kriterium j, wenn die Umweltsituation k auftritt.
Hier wird die Methode „Spiel gegen die Natur" [12] angeboten, die im Falle eines Kriteriums eine vollständige Ordnung der Entscheidungsvarianten berechnet und im Falle mehrerer Kriterien eine deter-

ministische Entscheidungsmatrix A bereitstellt, die dann nach den Methoden von 2.1.1. bearbeitet werden kann. Als Ausgangsinformationen benötigt dieses Verfahren neben den Elementen b_{ijk}:

— Relative oder absolute Häufigkeiten für das Auftreten der einzelnen Umweltsituationen und den dabei zugrundeliegenden Stichprobenumfang

oder

— Wahrscheinlichkeiten bzw. subjektive Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der Umweltzustände.

Dazu kommen noch die notwendige Vorgabe einer Irrtumswahrscheinlichkeit, die das Risikoverhalten des Entscheidungsträgers charakterisiert, und die Zahl der Realisierungen der getroffenen Entscheidung (z. B. Stückzahl des Erzeugnisses). Die damit berechneten Werte a_{ij} kennzeichnen den „schlechtesten" Mittelwert für das Kriterium j, den man bei Wahl der Entscheidungsalternative i zu erwarten hat.

2.1.3. Beispiel

Ein Dispatcher hat sich zu Beginn seiner Schicht für eine konkrete Bearbeitungstechnologie aus einer diskreten, endlichen Alternativmenge zu entscheiden. Diese Technologie ist auf verschiedene diskrete Chargen von Ausgangsmaterial (Umweltsituationen) anzuwenden. Der Dispatcher kennt die relativen Häufigkeiten für das Auftreten der einzelnen Chargen, den dabei zugrunde liegenden Stichprobenumfang und er weiß, wie oft die Chargen in seiner Schicht gewechselt werden (Realisierungszahl).
Außerdem ist bekannt, wie die Qualitätsparameter des Endpunktes und die ökonomischen Kennziffern (Güteattribute) bei Wahl der Technologie i und Charge k aussehen. Damit sind alle „objektiven" Daten bekannt. Der Dispatcher wählt nun eine Irrtumswahrscheinlichkeit für das Risiko, das er einzugehen bereit ist. Dann berechnet die Methode „Spiel gegen die Natur" die jeweils „schlechtesten" Mittelwerte für die Erfüllungsgrade der Güteattribute, die dann als Entscheidungsmatrix A durch Methoden nach 2.1.1. zur weiteren Entscheidungsfindung herangezogen werden können. Das könnte beispielsweise folgendermaßen aussehen:
Zuerst untersucht der Dispatcher, welche der Technologien paretooptimal sind (c)). Sollte sich dabei eine einzige kooperative Lösung herausstellen, wäre dies der konkrete Entscheidungsvorschlag. Das ist natürlich nicht zu erwarten. Die übrig bleibenden paretooptimalen Alternativen werden nun vom Dispatcher der Reihe nach nach jedem Kriterium geordnet (b)), so daß er die jeweils besten und schlechtesten Kriteriumsausprägungen innerhalb der Paretomenge erkennt. Auf der Basis dieser Kenntnis gibt er sich in einem nachfolgenden Schritt Minimalausprägungen der Kriterien vor und sondert die Varianten mittels des Programms GOAL-Berechnung aus, die die unteren Schranken erfüllen. Damit schränkt sich die Menge der zur Auswahl stehenden Alternativen weiter ein. Nimmt man an, daß der Dispatcher unter diesen Varianten eine findet, die ihm hinsichtlich der Kriteriumsausprägungen als befriedigend erscheint, dann kann er diese als Entscheidungsvorschlag akzeptieren oder, falls er sich nicht sicher ist, ob es noch eine weitere gibt, die seinen Vorstellungen noch besser entspricht, kann er sie als Referenzalternative für die Rückwärtsfilterung benutzen. Um den Überblick nicht zu verlieren, verlangt er von der Rückwärtsfilterung beispielsweise, daß ihm die drei der Referenzalternative am nächsten liegenden Varianten ermittelt werden, die er anschließend begutachtet.
Dies ist nur eine mögliche Abfolge. Auch sind Schleifen möglich, wenn z. B. Goals sequentiell präzisiert werden oder die Gruppenbildung hierarchisch erfolgt. Falls mit diesen „einfachen" Analyseverfahren kein Ergebnis erzielt wird, kann über eine genauere Analyse der Gütevorstellungen des Entscheidungsträgers z. B. das Prävalenzverfahren angewählt werden usw.

2.2. Verfahren der ein- und mehrkriteriellen nichtlinearen Optimierung

Auch bei mehrkriteriellen Aufgabenstellungen sind einkriterielle Verfahren nützlich, kann man doch mit ihrer Hilfe UTOPIA- und NADIR-Punkte bestimmen.
Außerdem kann man sie für sogenannte Ersatzaufgaben benutzen. Folgende Verfahren sind implementiert:

a) **Globale stochastische Suche** (einkriteriell)
Hierbei handelt es sich um eine eingliedrige oder wahlweise mehrgliedrige Evolutionsstrategie, die keine Gradienteninformationen benötigt und für beschränkte und unbeschränkte Aufgaben eingesetzt werden kann. Im Fall von Beschränkungen können diese wahlweise exakt oder über Strafterme berücksichtigt werden.
b) **Suche nach** ZANGWILL (einkriteriell)
Da dieses Verfahren bereits hinreichend bekannt ist, soll hier lediglich bemerkt werden, daß es keine Gradienteninformationen benötigt. Beschränkungen werden über Strafterme berücksichtigt.
c) **Verfahren des steilsten Anstiegs** (einkriteriell)
Auch dieses ist von seiner Methodik her bekannt. Es kann im interessierenden Fall nur bei inaktiven Beschränkungen eingesetzt werden.
d) **Verfahren nach** DAVIDON-FLETCHER-POWELL (einkriteriell)
Hier handelt es sich um ein Verfahren zweiter Ordnung, das aber keine zweiten Ableitungen benötigt. Es zeigt eine bemerkenswert schnelle Konvergenz. Im Fall aktiver Beschränkungen ist es nicht einsetzbar.
e) **Verfahren nach** FRANK-WOLFE (einkriteriell) [9]
Dieses Verfahren ist speziell für Probleme mit linearen Beschränkungen entwickelt worden und benötigt Gradienteninformationen.
f) **Verfahren antiparalleler Gradienten** (zweikriteriell) [2]
Dieses Verfahren kann auf zwei auszuwählende Zielfunktionen angewendet werden. Es realisiert die Suche paretooptimaler Lösungen sowie den Dialog mit der Paretomenge. Beschränkungen gehen über Strafterme in die Aufgabe ein.
g) **Verallgemeinertes Verfahren antiparalleler Gradienten** (mehrkriteriell)
Hier können beliebig viele Zielfunktionen behandelt werden [2]. Beschränkungen werden exakt berücksichtigt. Man kann paretooptimale Lösungen berechnen und sich in der Paretomenge bewegen.
h) **Globale stochastische Suche** (mehrkriteriell) [13]
Dabei handelt es sich um eine mehrgliedrige Evolutionsstrategie, bei der Beschränkungen exakt oder über Strafterme eingehalten werden können. Berechnet wird eine diskrete Repräsentation der Paretomenge. Gradienten werden nicht benötigt.

Bemerkungen:
Auch hier sind alle denkbaren Übergänge von einem Verfahren zum anderen erlaubt, wenn die benötigten Informationen zur Verfügung gestellt werden können. Allerdings ist zu vermerken, das einige Verfahren bei weitem nicht so einfach zu steuern sind, wie die des Variantenvergleiches. Verfahrensparameter sind vom Nutzer einzugeben, z. B. Strafparameter, Schrittweiten, Abbruchschranken. Im konkreten Fall werden deshalb erst einige Läufe benötigt, die dem Kennenlernen des Problemverhaltens dienen. Dazu ist es besonders zweckmäßig, daß die Optimierungsprozesse

— an beliebiger Stelle abgebrochen werden können
— schrittweise verfolgt werden können
— automatisch bis zur Erfüllung der Abbruchschranke laufen.

Zur Illustration wird das folgende mathematische Beispiel betrachtet:
Es sei eine dreikriterielle nichtlineare Optimierungsaufgabe zu lösen, für die keine Konvexitätsaussagen gemacht werden können. Die Beschränkungen seien aber linear, und es ist möglich, die Gradienten zu berechnen. Dann könnte das Vorgehen folgendermaßen aussehen. Mit Hilfe der einkriteriellen, globalen stochastischen Suche werden Startlösungen für den Algorithmus nach FRANK-WOLFE bestimmt, mit dessen Unterstützung man die individuellen Optima der einzelnen Zielfunktionen bestimmt. Damit hat man in etwa den Wertebereich bestimmt, in dem sich die paretooptimalen Lösungen befinden. Daran kann sich die mehrkritierielle, globale stochastische Suche anschließen, die eine erste Näherung für die Paretomenge ermittelt. Diese diskrete Repräsentation der kontinuierlichen Paretomenge kann dann mit Verfahren des mehrkriteriellen Variantenver-

gleiches weiterbearbeitet werden, in dem z. B. über die Vorwärtsfilterung die Menge der Varianten drastisch eingeschränkt wird, aber trotzdem die globalen Informationen über die Paretomenge erhalten bleiben. Die übrigbleibenden Repräsentanten werden nun als Startpunkt für das verallgemeinerte Verfahren antiparalleler Gradienten benutzt. Von jedem Startpunkt ausgehend, errechnet man in einem folgenden Schritt eine exakte paretooptimale Lösung, woran sich zusätzlich ein Dialog anschließen kann. Alle dabei anfallenden paretooptimalen Lösungen sind als Varianten zu speichern und dem mehrkriteriellen Variantenvergleich zu unterwerfen, der dann wie vorher beschrieben abläuft. Sollte sich dabei eine Lösung ergeben, die der Entscheidungsträger nur mit Vorbehalt akzeptiert, steht nichts im Wege, diese Lösung erneut als Startlösung für ein Optimierungsverfahren zu benutzen, um eventuell in der Nähe dieser Lösung liegende akzeptablere Varianten zu ermitteln usw.

2.3. Ein- und mehrkriterielle lineare Optimierung

Das hier zur Anwendung kommende Verfahren ist vom Prinzip her das Simplexverfahren, das im Fall der einkriteriellen Optimierung dem klassischen Herangehen entspricht. Bei mehreren Kriterien ist der Dialog mit der Paretomenge möglich, wie dies auch in [14] beschrieben wurde. Alle berechneten paretooptimalen Lösungen können abgespeichert werden. Der Dialog kann an beliebiger Stelle abgebrochen werden. Sollten die Sprünge in der Paretomenge zu klein oder zu groß sein, kann ein leicht verständlicher Schrittweitenparameter verändert werden. Von Lösung zu Lösung wird dem Entscheidungsträger eine Information gegeben, welche Zielvorstellungen lokal nicht mehr verwirklichbar sind. Auch können alle abgespeicherten Varianten in den mehrkriteriellen Variantenvergleich übernommen werden. Vom Nutzer werden außer der üblichen Nulldefinition keine Verfahrensparameter verlangt.

2.4. Allgemeine Hinweise

Es sollen noch einige Bemerkungen zur Eingabe der Modelle und der Daten gemacht werden. Die Eingabe wird durch Abfragen gesteuert, wobei Schwierigkeiten höchstens bei Modellen der nichtlinearen Optimierung auftreten können. Das ist dadurch bedingt, daß Formeln in Subroutinen zu erstellen sind. Dies wird aber durch ein Maskenprogramm derart unterstützt, daß keine prinzipiellen Probleme entstehen. Eine Verbesserung der Dialogarbeit erreicht man, indem den Zielfunktionen, Beschränkungen und Variablen Namen zugeordnet werden können, beispielsweise: Gewinn, Mischungsverhältnis, Energieaufwand usw. Ansonsten werden als Standardnamen $Q1, \ldots, QM$; $B1 \ldots, BR$; $X1, \ldots, XN$ benutzt.

Der Informationsinhalt der Dateien wird durch das EXTEND des Dateinamens charakterisiert, das automatisch erstellt wird. Außerdem kann sich der Nutzer selbst durch sinnvolle Namensgebung die Arbeit erleichtern, obwohl dies nicht Voraussetzung ist. Die Namen der Programmdateien sind für den Nutzer unwichtig, da er diese an keiner Stelle seiner Arbeit benötigt. Eigentlich braucht der Nutzer nur die Datei PSTART (16 bit/MS-DOS) oder POLYP (8 bit/SCPX) aufzurufen. Alles weitere vollzieht sich mehr oder minder zwangsgeführt über die Menüs. Notwendig ist allerdings ein gewisses Beherrschen der Begriffe aus der Entscheidungstheorie und Optimierung, etwa in der Form, wie in diesem Beitrag.

Der Leistungsumfang für die einzelnen Verfahren kann an die speziellen Probleme und die zur Verfügung stehende Rechentechnik angepaßt werden. Gegenwärtig wird POLYP in etwa 20 Einrichtungen der DDR nachgenutzt, darunter auch in verschiedenen Bildungseinrichtungen zur Qualifizierung der Kader in Richtung Nutzung von interaktiven Entscheidungssystemen.

Bezüglich einiger Anwendungen sei auf [14] verwiesen. Zu ergänzen sei, daß POLYP als Entwicklungssystem Moduln bereitstellt, die in der operativen Steuerung für einen Textilbetrieb der DDR zum Einsatz kommen werden.

Hinsichtlich der Weiterentwicklung von POLYP ist hinzuzufügen, daß durch eine Erweiterung der Moduln zur nichtlinearen Optimierung eine weitere Erhöhung der Nutzerfreundlichkeit angestrebt wird, was auch ganzzahlige und kombinatorische Aufgaben mit einschließt. Auch ist eine neue Methode für Fuzzy-Entscheidungen [15] vorgesehen. Bei der Auswahl des richtigen Verfahrens soll zukünftig der Anwender durch ein kleines Expertensystem unterstützt werden.

Literatur

[1] Fandel, G.; Grauer, M.; Kurzhanski, A.; Wierzbicki, A. (ed.): Large-Scale Modelling and Interactive Decision Analysis. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1986.

[2] Ester, J.: Systemanalyse und mehrkriterielle Entscheidung. Berlin: VEB Verlag Technik 1987.

[3] Böhme, D.; Wernstedt, J.: Entwurfskonzepte für Beratungssysteme zur Lösung kybernetischer Aufgaben. msr, Berlin 30 (1987) 12, S. 535–539.

[4] Peschel, M.; Riedel, C.: Polyoptimierung – Eine Entscheidungshilfe für ingenieurtechnische Kompromißlösungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1975.

[5] Schiffer, A.-M.: POLYP.BC – Ein Programmsystem zur rechnergestützten Entscheidungsfindung. Wiss. Zeitschrift der TH Ilmenau (1987) 6.

[6] Peschel, M.: Ingenieurtechnische Entscheidungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.

[7] Dinkelbach, W.: Entscheidungsmodelle. Berlin/New York: Walter de Gruyter 1982.

[8] Franz, D.: Programmsystem Polyoptimierung. Wiss. Zeitschrift der TH Ilmenau (1980) 6.

[9] Steuer, R.: Multiple criteria optimization. New York: John Wiley & Sons 1985.

[10] Keeney, R.; Raiffa, H.: Decision analysis with multiple conflicting objectives. New York: John Wiley & Sons 1976.

[11] Winkels, H.-M.; Wäscher, G.: Entscheidungsprobleme bei mehrfacher Zielsetzung. Ruhr-Universität Bochum, Arbeitsbericht zur Ökonomathematik, Nov. 1983, Nr. 8304.

[12] Muschick, E.; Müller, P.-H.: Entscheidungspraxis. Berlin: VEB Verlag Technik 1987.

[13] Timmel, G.: Ein stochastisches Suchverfahren zur Bestimmung der optimalen Kompromißlösungen bei statischen polykriterialen Optimierungsaufgaben. Wiss. Zeitschrift der TH Ilmenau (1980) 6.

[14] Ester, J.; Holzmüller, R.: About some methods and applications in multicriteria decision making. Syst. Model. Simul. 3 (1986) 5.

[15] Ester, J.: A fuzzy concept of efficiency. In: Recent Advances and Historical Development of Vector Optimization. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1987.

msr 8928

Für alle, die als Hobby Uhren pflegen und instand setzen, erscheint jetzt das Buch

Zeichnungen der Uhrentechnik

von Dipl.-Ing.-Päd. Bernd Schirmer, Ing. Uhrmachermeister Horst Möllnitz und Dipl.-Ing. Christian Schmiedchen.

1. Auflage. 68 Seiten, 97 Bilder, 19 Tafeln, Broschur, DDR 4,70 M, Ausland 12,— DM.

Auslieferung durch den Fachbuchhandel.

Bestellangaben: 553 981 9/Schirmer, Uhrenzeichnen.

Hauptabschnitte: Darstellungen · Konstruktion von Baugruppen Konstruieren flacher Spiralen Konstruieren von Zahnradeingriffen Darstellen flächenhafter Körper im Koordinatensystem · Konstruieren von Hemmungen · Schaltzeichen und Schaltpläne elektrischer und elektronischer Uhren.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

P. Kopacek, I. Troch, M. Günther

Steuerungsstrukturen und -algorithmen für Industrieroboter

0. Einleitung

Industrieroboter sind universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und -wegen bzw. -winkeln frei, d. h. ohne mechanischen Eingriff, programmierbar und gegebenenfalls sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausgerüstet und können Handhabungs- und/oder Fertigungsaufgaben ausführen.

Derzeit ist ein Wandel der Industrieroboter vom Universalgerät zum modular aufgebauten Spezialgerät festzustellen. Die durch hohe Kosten erkaufte Universalität konnte in den meisten Anwendungsfällen auch nicht annähernd genutzt werden. Der Trend geht hier eindeutig zu preiswerten „Einzweckrobotern", die unter Umständen modular aufgebaut sind und so einen hohen Wiederverwendungswert haben. Heute ist das Haupteinsatzgebiet das Punktschweißen, meist in der Automobilindustrie, gefolgt vom Lichtbogenschweißen und von Handling-Aufgaben. Das Einsatzgebiet mit den spektakulärsten Zuwachsraten ist eindeutig die Montage. Der Einsatz von Industrierobotern für Montageaufgaben scheitert aber an der begrenzten Flexibilität, dem relativ hohen Hard- und Softwareaufwand, der relativ zeitintensiven Programmierung sowie der nicht immer ausreichenden Positioniergenauigkeit. Dem heute verwendeten Industrieroboter fehlen häufig Informationen aus seiner Umwelt.

Diese Entwicklungen führen zwangsläufig zur Konstruktion kleiner und billiger Sensoren, zur Erstellung von Regelalgorithmen, die die Einbeziehung von Sensorsignalen in einfacher und effizienter Weise erlauben, sowie zur Weiterentwicklung der Werkstückerkennungsverfahren.

Daraus ergeben sich sowohl vom Aufbau als auch von der Steuerung her neue Roboterkonzeptionen.

Dieser Beitrag kann und soll keine vollständige Gesamtübersicht über das Gebiet liefern, sondern einen Einblick in Teilgebiete der Robotertechnik geben, zu denen die von den Autoren vertretenen Bereiche Beiträge leisteten.

Handhabungsgeräte oder Industrieroboter bestehen aus den im Bild 1 schematisch dargestellten Baugruppen [1]. Aufgabe dieser Geräte ist es, einen oder mehrere Punkte in einem Arbeitsraum mit bestimmter Orientierung des Greifers, Werkzeuges usw. anzufahren. Ein Handhabungsgerät oder Roboter besteht daher zunächst aus dem Greiferführungsgetriebe, an das ein entsprechender Greifer

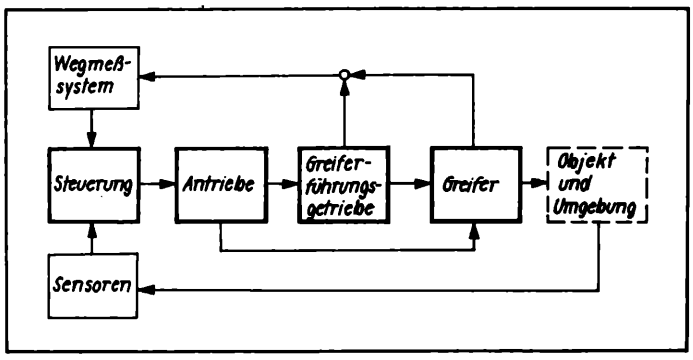


Bild 1. Baugruppen von Handhabungsgeräten [1]

angebaut ist. Von den häufig erforderlichen sechs Freiheitsgraden werden meist drei in das Greiferführungsgetriebe und die restlichen drei in den Greifer gelegt. Jeder dieser Freiheitsgrade kann als Schubglied ausgeführt werden. Die einzelnen Elemente dieser Baugruppen werden durch entsprechende Antriebe bewegt. Eine Steuerung — bei Industrierobotern ein Digitalrechner bzw. mehrere Mikrorechner — sorgt dafür, daß die Antriebe derart angesteuert werden, daß der „Handpunkt" des Greifers eine vorgegebene Position, der Greifer selbst eine vorgegebene Richtung einnimmt. Neben diesen vier unbedingt notwendigen Baugruppen ist zur Lageregelung noch eine Rückmeldung der Istposition des Greifers an die Steuerung erforderlich.

Der heute oft beschrittene Weg besteht darin, aus den Stellungen der einzelnen Drehgelenke oder Schubglieder die Istposition des Handpunktes zurückzurechnen. Dies ist nur unter der Voraussetzung, daß sich Greiferführungsgetriebe und Greifer während des Bewegungsablaufes nicht verformen, also sehr steif ausgeführt sind, möglich. Ist dies nicht der Fall, müßte die tatsächliche Istposition durch externe Sensoren (z. B. Fernsehkameras, Kraft-Momenten-Sensoren) bestimmt werden.

Die Bewegungssteuerung für Starrkörpersysteme besteht als eigentliche prozeßnahe Steuerung am Prozeß „Roboter", bei Ausschluß der spezifischen Greifersteuerung und der Steuerung der technologischen Umgebung, aus den Hauptbestandteilen

— Bahnkurvenberechnung („Interpolation")
— Bahnregelung („Servoregelung", „Positionsregelung").

Während bei der Bahnregelung Sensorinformationen über den Bewegungszustand (Lage, Geschwindigkeit) vorrangig nur dieser Teilaufgabe zugeordnet sind, können externe Sensorsignale sowohl in die Bahnregelung als auch in die Bahnkurvenberechnung einbezogen werden.

1. Bahnberechnung

Mit dem Begriff „Bahnberechnung" sind mehrere, sowohl zum Teil sehr unterschiedliche als auch sehr verwandte Probleme verbunden. Die A-priori-Information über die Umwelt kann in einer

— vollständigen Vorgabe der gesamten Bahn
— Vorgabe einzelner Punkte zusammen mit Anforderungen an die Gestalt der sie verbindenden Kurve

bestehen. Die Bahn oder die einzelnen Punkte können in Roboterkoordinaten (Gelenkwinkel, Schubwege) oder in Weltkoordinaten (Koordinaten des Arbeitsraumes, task-space) gegeben sein. Inwieweit eine eindeutige Umrechnung zwischen diesen beiden Koordinatensystemen möglich ist, hängt von der Kinematik des Greiferführungsgetriebes des Roboters ab.

Roboterkoordinaten sind zum Beispiel bei einer Programmierung durch Zeigen (teach in), Weltkoordinaten bei einer externen Punkt-

---

Prof. Dr. techn. PETER KOPACEK (49) studierte bis 1966 Maschinenbau an der TH Wien. 1968 bis 1975 Hochschulassistent am Institut für Wasserkraftmaschinen und Pumpen, Fachgebiet Regelungstechnik, der TH bzw. TU Wien. 1971 Promotion, 1975 Habilitation, jeweils auf regelungstechnischem Gebiet. 1975 Ernennung zum Universitätsdozenten an der TU Wien. Seit 1986 Professor für Systemtechnik/Automatisierung an der Johannes-Kepler-Universität Linz. Generalsekretär des IFAC-Beirates Österreich (1985) und Mitglied in verschiedenen IFAC-Gremien.

Prof. Dr. techn. INGE TROCH (47) studierte von 1959 bis 1963 Mathematik an der TH Wien. Anschließend Hochschulassistent am Institut für Technische Mathematik der TH Wien. 1966 Promotion zum Dr. techn., 1974 Ernennung zum Hochschulprofessor und seit 1982 Leiterin der Abteilung „Regelungsmathematik, Hybridrechen- und Simulationstechnik" am Institut für Analysis, Technische Mathematik und Versicherungsmathematik der TU Wien. Mitglied des Leitungsgremiums der IMACS.

Prof. Dr.-Ing. MANFRED GÜNTHER (53) studierte von 1953 bis 1959 Regelungstechnik an der Hochschule für Elektrotechnik Ilmenau. Anschließend bis 1966 wissenschaftlicher Assistent und Oberassistent am Institut für Regelungstechnik der TH Ilmenau. 1967 bis 1970 Gruppen- und Abteilungsleiter im Institut für Datenverarbeitung Dresden bzw. ZFT Robotron auf dem Gebiet der Prozeßrechentechnik. 1970 Berufung zum o. Professor für Automatische Steuerung an die Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik der TH Ilmenau. Dort von 1971 bis 1974 stellvertretender Sektionsdirektor für Forschung, von 1975 bis 1982 Sektionsdirektor und seit 1986 Wissenschaftsbereichsleiter. Vorstandsmitglied der WGMA.

bzw. Bahnberechnung (zum Beispiel nach einem Optimierungskriterium) oder bei Sensoreinsatz vorteilhaft. Immer ist jedoch auf die für die Datenwandlung erforderliche Rechenzeit Rücksicht zu nehmen. Bei der Bahnvorgabe durch einzelne Punkte zusammen mit der Forderung, daß diese durch eine entsprechende Kurve im Raum zu verbinden sind, müssen diese zunächst in Weltkoordinaten bestimmt und dann in Roboterkoordinaten umgerechnet werden. Bei dieser Aufgabenstellung sind zuerst weitere Zwischenpunkte zu generieren, die anschließend durch eine bezüglich der Zeit parametrisierte Kurve so verbunden werden, daß Bewegung oder Bewegung **und** Geschwindigkeit stetig sind. Mitunter fordert man auch die Stetigkeit der Beschleunigungen und eine Beschränkung des „Rukkes". Liegt die Bahn vom Anfang an vollständig vor, spricht man auch von einer kontinuierlichen Bahnsteuerung im Gegensatz zu der eben besprochenen quasikontinuierlichen.
Die Dokumentation kann grundsätzlich durch Abtasten und Abspeichern von hinreichend dicht beieinanderliegenden Zwischenpunkten erfolgen. Dies bewirkt allerdings einen großen Speicherplatzbedarf. Man versucht ihn z. B. dadurch zu vermindern, daß man eine mathematische Beschreibung findet, die die gegebene Kurve hinreichend gut approximiert, jedoch zu ihrer Dokumentation weniger Speicherplatz benötigt.
Die Bahnvorgabe erfolgt auch zu dem Zweck, Kollisionen mit festen oder beweglichen Gegenständen der Umgebung des Roboters zu vermeiden, wobei einige Punkte nur zu diesem Zweck eingefügt sein können. Gerade für diese Zwischenpunkte ist es jedoch nicht wünschenswert, dort auch anzuhalten. Entsprechendes gilt auch für jene vom Steuerungsprogramm erzeugten Zwischenpunkte, die notwendig sind, um der Verbindungskurve die gewünschte Gestalt zu geben. Man kann daher von der Grundaufgabe ausgehen, die Bewegung des Roboters so festzulegen, daß sie auf dem Weg vom Anfangspunkt zum Endpunkt durch vorgegebene Zwischenpunkte verläuft und dort nicht anhält. Eine einfache Möglichkeit, dieses Anhalten zu vermeiden, besteht darin, den zum $(k + 1)$-ten Zwischenpunkt gehörigen Sollwert vorzugeben, bevor der k-te Zwischenpunkt erreicht ist. Dies bedeutet allerdings, daß die Zwischenpunkte nicht exakt durchfahren werden. Eine andere Möglichkeit ist die Vorgabe einer Sollgeschwindigkeit, was die Überlagerung der Positionsregelung durch eine entsprechende Geschwindigkeitsregelung erfordert.

2. Bahnregelung

Trotz der Einschränkung auf Bewegungssteuerungen für Starrkörpersysteme und unter Ausklammerung von Greifersteuerung und Steuerung der technologischen Umgebung gibt es noch eine große Vielfalt von Strukturen und Algorithmen zur Bahnregelung im Rahmen der Robotersteuerung. Diese Vielfalt wird hauptsächlich geprägt durch

- Aufgabenstellung
- Konstruktion und Parameter des Greiferführungsgetriebes (GFG)
- verwendete bzw. verfügbare Stell- und Sensortechnik sowie Rechentechnik.

Aus diesen Aufgabenstellungen erwachsen für Bewegungssteuerungen von Arbeitsorganen folgende systemtheoretische bzw. -technische Hauptzielstellungen [2] und [3]:

- Stabilität des Systems
- hohe Genauigkeit der Positionierung
- gutes Folgeverhalten der Achsen bezüglich vorgegebener Solltrajektorien
- hohe Dynamik des Systems bei ausreichender Dämpfung von Einflüssen durch äußere Kräfte; minimales Überschwingen auf den Trajektorien
- minimaler Energieeinsatz in den Antriebselementen durch Vermeidung von Schwingneigungen (Verringerung des Verschleißes)
- Wiederholbarkeit der Bahnverfolgung bei unterschiedlichen Störungen
- überschaubarer Entwurf
- gute Implementierbarkeit in einem Echtzeit-(Mehr-)Prozessorsystem
- einfache Bedienung und Zuverlässigkeit der Steuerung.

Der Realisierung dieser Zielstellungen stehen andererseits spezifische Eigenschaften des Systems „Industrieroboter" gegenüber:

- stark nichtlineares Verhalten des Mehrgrößensystems GFG mit u. U. starken Verkopplungen der einzelnen Achsen
- teilweise nichtlineare Einflüsse der Antriebe sowie der Meß- bzw. Sensorsysteme
- orts- und zeitabhängige Veränderung von Systemparametern
- Unsicherheit durch Wechsel in der Aufgabenstellung, variable Belastungen, Wechselwirkungen mit der Arbeitsumgebung usw.
- u. U. komplizierte Bewegungsvorgänge.

Es ist daher leicht einzusehen, daß für solche Systeme eine Vielzahl von unterschiedlichen Steuerungen entwickelt und eingesetzt wurden bzw. werden. Die Palette reicht von autonomen (dezentralen) Antriebsregelungen ohne Berücksichtigung der konkreten GFG-Strukturen und -Parameter bis zu sehr anspruchsvollen, komplexen Steuerungen unter Einbeziehung des GFG-Modells (mit zumeist wenig Realisierungschancen).
Zwischen diesen beiden Grenzen müssen sich ingenieurtechnische Lösungen bewegen, die den o. g. Zielstellungen und Bedingungen genügen. Gegenwärtig überwiegen allerdings Industrieroboter mit einfachen „klassischen" Algorithmen im Rahmen der Bahnregelung.
Die Arbeiten der Partner wurden und werden durch die kooperativen Beziehungen gefördert. Es soll nachfolgend in Übersichtsform ein Einblick in einige dieser Arbeiten gegeben werden.
Dazu erscheint es zweckmäßig, die Bahnregelungen in zwei Hauptgruppen zu unterteilen:

- Positionsregelung des Arbeitsorganes ohne Informationen über seine Umgebung
- Positionsregelung unter Einbeziehung von Umgebungsinformationen.

2.1. Positionsregelung des Arbeitsorganes ohne zusätzliche Informationen über die Umgebung

Entscheidend für die Steuerung/Regelung der Position sind Art und Grund der Einbeziehung des GFG-Modells in den Algorithmus. Im Abschnitt 2.1.1. sollen dazu einige Anmerkungen erfolgen, zumal hierzu eine Reihe von Beiträgen geleistet wurde.

2.1.1. Modell des GFG

Bei der mathematischen Beschreibung von GFG als Starrkörpersysteme wird in vielfältiger Form auf Mittel und Methoden der theoretischen Mechanik zurückgegriffen [1]. Die „Lagrangeschen Gleichungen", die das dynamische Verhalten eines solchen Mehrkörpersystems beschreiben, haben sich in diesem Fachgebiet trotz einiger Nachteile etabliert. Sie lassen sich u. a. in der Form

$$g_{ij}\ddot{q}_j + \Gamma_{ijk}\dot{q}_j\dot{q}_k = Q_i \qquad (1)$$

darstellen [4]. Die Größen g_{ij}, Γ_{ijk} und Q_i, d. h. die Elemente der Matrix der systemeigenen Metrik, die Christoffel-Symbole sowie die verallgemeinerten Kräfte bzw. Momente, können für konkrete GFG-Strukturen entweder numerisch berechnet oder aus arithmetischen Ausdrücken gewonnen werden. Die letztgenannte Möglichkeit bietet den Vorteil, Verkopplungen im Gesamtsystem zu erkennen und den Koppelgrad einzuschätzen. Darüber hinaus ist es möglich, im Interesse der Rechenzeitoptimierung Maßnahmen zur kompakteren Darstellung oder eventuell Näherungsbeziehungen abzuleiten [5]. Vorschläge dazu wurden auch von TRILLER [6] unterbreitet. Ein Nachteil dieser Gleichungen ist jedoch ihre u. U. aufwendige Handhabung hinsichtlich der Auswertung mit Hilfe von Digitalrechnern. Deshalb wird versucht, zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens die „Gibbs-Appel-Gleichungen" heranzuziehen. Diese Vorgehensweise ist in [7] demonstriert.

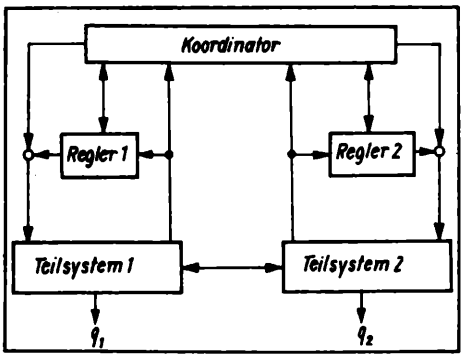


Bild 2. Prinzip der dezentral/hierarchischen Entkopplung, Linearisierung und Regelung für ein GFG mit zwei Freiheitsgraden

2.1.2 Bahnregelung auf der Basis autonomer Achsregelungen

Bei den meisten realisierten Bahnregelungen wird achsenbezogen auf Basis der mechanischen Bewegungsgleichungen bzw. entsprechender Vereinfachungen geregelt, ohne die Einflüsse mechanischer Verkopplungen direkt zu berücksichtigen; diese werden als Störungen der N selbständigen Eingrößenregelungen aufgefaßt. Unter Bedingungen, bei denen die Koppeleinflüsse nicht zu stark sind, werden häufig PD- oder Zustandsregler in einschleifigen Kreisen oder Kaskadenstrukturen mit Erfolg eingesetzt. Durch robuste Einstellungen und/oder besondere Aufschaltungen kann das Einsatzspektrum erheblich erweitert werden [8]. In diesem Zusammenhang wächst die Bedeutung von adaptiven Achsregelungen (siehe Abschnitt 2.1.5.).
In Abhängigkeit von der GFG-Struktur erfüllt dieses Konzept vor allem bei schnellen und komplizierten Bewegungsvorgängen nicht mehr die Anforderungen.

2.1.3 Bahnregelung auf der Basis des linearisierten GFG-Modells

Durch Linearisierung der mechanischen Bewegungsgleichungen für verschiedene „Arbeitsräume" können lineare Mehrgrößensysteme bestimmt werden [6]. Das Problem besteht in der Auswahl von Repräsentanten für das Gesamtsystemverhalten. Aufwendig kann sich auch der Entwurf der digitalen Mehrgrößenregler mit eventueller Struktur- und Parameterumschaltung gestalten. Aussagen zur Stabilität sind nur bedingt möglich. Das Gesamtverhalten muß schließlich mit Hilfe der Simulation überprüft werden. Die Entwurfsprobleme treten gerade dort besonders auf, wo die vollständige, dezentrale Regelung nach Abschnitt 2.1.2. versagt. Der am häufigsten beschrittene Weg, zu linearisierten Teilsystemen zu gelangen, ist daher die nichtlineare Systementkopplung, auch als Technik des inversen Systems bezeichnet.

2.1.4. Bahnregelung mit nichtlinearer Systementkopplung

Unter der Annahme, daß das Modell des GFG in Form der Bewegungsgleichung (1) exakt bekannt ist, kann die vollständige Entkopplung derart vorgenommen werden, daß die eigentliche Regelung für N I^2-Strecken zu entwerfen ist. Der Entkopplungsalgorithmus wird zum Bestandteil des Regelalgorithmus. Dieser Sachverhalt ist hinreichend bekannt und viel zitiert [2].
Folgende schwerwiegende Einwände werden gegen dieses Steuerungskonzept angeführt [4] und [6]:

- Das Modell spiegelt i. allg. nur wesentliche Eigenschaften des Systems wider.
- Die Messungen von Lage und insbesondere Geschwindigkeit sind nur fehlerbehaftet möglich.
- Die Diskretisierung der Meßwerte und ihre numerische Verarbeitung beeinflussen das Ergebnis.
- Die Eigenschaften von Antrieben, Sensorsystemen usw. werden meist nicht hinreichend berücksichtigt.

Die Wechselwirkung zwischen Rechenzeitbedarf und Genauigkeit wurde von LATWESEN [4] besonders analysiert und aus dieser Sicht in der dezentralen Entkopplung und Linearisierung in Form einer hierarchischen Struktur gemäß Bild 2 ein Ausweg gesehen. Dieses Konzept bezieht sich auf Zustandsgleichungen für das Gesamtsystem, deren Steuer- und Ausgangsmatrizen blockdiagonal sind, d. h., die Teilsysteme sind nur über die Zustände gekoppelt. Positiv ist bei diesem Konzept die Verteilung der Aufgaben auf 2 Ebenen aus entwurfsmethodischer und anwendungstechnischer Sicht zu werten. Eine ebenfalls in [4] vorgeschlagene 2-Ebenen-Steuerung für starke Eingangskopplungen orientiert gezielt auf eine teilweise Entkopplung und Linearisierung. Der schnelle Reglerzugriff erfolgt in der unteren, die Berechnung von Aufschaltwerten in der oberen Ebene. Die Taktierung der Aufschaltwerte kann in Abhängigkeit von Reglerstruktur, Bahnvorgabe usw. langsamer vorgenommen werden oder ganz entfallen.

2.1.5. Adaptive Bahnregelung

Unter den gegebenen komplizierten Prozeßbedingungen mit variablen Parametern und/oder unbekannten (unsicheren) Teilmodellen liegt die Nutzung adaptiver Steuergesetze nahe. Die Zahl der Veröffentlichungen zu diesem Konzept der Bahnregelung von IR hat in den letzten Jahren, bedingt durch Fortschritte in der theoretischen Erschließung, durch wachsende praktische Erfahrungen sowie durch Erhöhung der Realisierungschancen sprunghaft zugenommen. Für die hier relevante Systemklasse scheint die adaptive Regelung mit Bezugsmodell (Modell Reference Adaptive Control MRAC) dominierend zu sein. Mit der Wahl des Streckenmodells, des Identifikationsalgorithmus und des Regleralgorithmus eröffnet sich eine breite Palette von Varianten, die sich nach unterschiedlichsten Gesichtspunkten klassifizieren lassen. Vielfach werden solche Lösungen wegen des zu hohen rechentechnischen Aufwandes bzw. der erforderlichen, hohen Rechengeschwindigkeit für schnelle Bahnregelungen abgelehnt.
Positive Einschätzungen beziehen sich häufig auf nicht repräsentative, einfache IR-Strukturen mit schwachen Kopplungen und auf langsame Bewegungsvorgänge. Gründliche Untersuchungen in diesem Teilgebiet sind offensichtlich noch erforderlich.
Von LUH [9] wurden Untersuchungen mit einem leistungsfähigen Adaptionsalgorithmus durchgeführt, wobei die Vorteile einer gleichzeitig realisierten teilweisen Entkopplung deutlich werden. Für den Fall, daß Nichtlinearitäten signifikant sind, muß ein völlig nichtlineares Modell zugrunde gelegt werden. Von KNAFEL [3] wurden u. a. Untersuchungen zu Steueralgorithmen, die auf der Hyperstabilitätstheorie basieren, sowie zu verschiedenen Modifikationen des Entwurfs von MRAC-Systemen (Typ: Variable Structure Systems VSS) durchgeführt. Die Algorithmen wurden an einem konkreten Robotertyp getestet und ihre Eigenschaften verglichen.
Die simulativen Untersuchungen haben die theoretischen Eigenschaften der VS-Systeme, d. h. die Robustheit des Systems gegen Instationaritäten und Störungen, und damit ihre Eignung für die Steuerung von unsicheren und zeitveränderlichen Objekten, wie IR, bestätigt.

2.2. Positionsregelung des Arbeitsorgans mit Informationen über seine Umgebung

Für die mathematische Beschreibung der Bewegung des Arbeitsorgans kann es bei bestimmten Aufgabenstellungen erforderlich sein, die Wechselwirkung mit Objekten seiner Umgebung einzubeziehen. Zur Formulierung der natürlichen Beschränkungen der Bewegung müssen, neben Informationen über objektunabhängige Größen (Position, Geschwindigkeit usw. des Arbeitsorgans), auch objektbezogene Größen, wie der Abstand des Arbeitsorganes von Objekten oder die bei Kontakt wirkenden Kräfte, herangezogen werden.
Bei Regelungskonzepten, die unter Berücksichtigung der natürlichen Einschränkungen arbeiten, sind mehrere Strategien der Bahnvorgabe möglich. Eine Klassifizierungsmöglichkeit besteht hinsichtlich Vollständigkeit und Eindeutigkeit der Bahnvorgabe. KOZA [10] hat die aus dieser Klassifizierung resultierenden Steuerungskonzepte zusammengestellt, diskutiert und an einem Experimentalaufbau, unter Einsatz eines Kraft-Momenten-Sensors, untersucht.
Bild 3 zeigt ein sogenanntes hybrides Steuerungskonzept zur Realisierung einer vollständigen und eindeutigen Strategie. Dieses Konzept ist für solche Aufgaben geeignet, bei denen die Oberfläche von Objekten der Umgebung des Arbeitsvorganges nicht verändert werden soll, z. B. für Montageaufgaben.

Das im Bild 4 dargestellte Konzept mit zusätzlicher Kraftregelung gestattet ein „elastisches" Verhalten des Arbeitsvorganges bei nicht genau beschreibbaren Oberflächen des zu bearbeitenden Objektes, z. B. beim Abschleifen der Oberfläche von Gußstücken. Von Vorteil ist bei diesem Konzept die problemlose Erweiterung einer vorliegenden Positionsregelung durch eine zusätzliche Kraftregelung.

3. Simulationsergebnisse und Experimente

Beim Entwurf von komplizierten und komplexen Bahnregelungen kann zumeist nicht auf Simulations- und gegebenenfalls experimentelle Untersuchungen verzichtet werden. Obgleich das reale Verhalten durch das Simulationsmodell nie exakt widergespiegelt wird, können doch die unterschiedlichsten Einflüsse von Strukturen und Parametern des GFG, der Antriebe und Sensorsysteme sowie der digitalen Bahnregelung zumindest tendenziell bewertet werden. In den von den Autoren vertretenen Bereichen wurden auch dazu zahlreiche Arbeiten geleistet, z. B. [4] [6] [11] bis [13].

Grundlage für jede Simulation bilden die kinetischen Gleichungen des Gesamtsystems „Industrieroboter" also einschließlich der Antriebe und Getriebe [1]. Es handelt sich dabei im Extremfall um sechs nichtlineare, verkoppelte Differentialgleichungen zweiter Ordnung ohne Berücksichtigung der Antriebsdynamik, wobei üblicherweise nur die drei Freiheitsgrade des GFG berücksichtigt werden und der Greifer einschließlich der Last als punktförmige Masse modelliert wird. Untersuchungen über die Zulässigkeit dieser Vorgehensweise sind beispielsweise in [14] enthalten. Simuliert wurden GFG des Typs DSS und DDD mit konstant erregten Gleichstrommotoren (D Drehgelenk, S Schubgelenk). Die Getriebe werden als reine P-Glieder betrachtet.

Zur Simulation findet meist die Simulationssprache ACSL (Advanced Continuous Simulation Language), implementiert auf einer Großrechenanlage (CYBER 860) oder neuerdings auf Personalcomputern, Verwendung.

Als Beispiel für erhaltene Ergebnisse dient Bild 5. Für einen Roboter der kinematischen Struktur DSS sind Übergangsfunktionen sowie die Bewegungsbahn in der x-y-Ebene bei Verwendung von digitalen Reglern dritter Ordnung angegeben.

An der Technischen Hochschule Ilmenau wurden im Wissenschaftsbereich Automatische Steuerung u. a. für GFG vom Typ DDD umfangreiche simulative Untersuchungen mit zwei Programmsystemen (Programmiersprache PL/1) vorgenommen, die in [4] und [6] beschrieben sind. Das Simulationsprogrammsystem PHM 4 [4] gehört zur Klasse der modular aufgebauten Systeme mit Orientierung auf einen bestimmten GFG-Typ, während das Programmpaket SIMROB [6] als universelles Simulationssystem gestattet, die wesentlichen Regelungskonzepte an einer großen Zahl von Robotertypen zu untersuchen. Die Einbeziehung der Echtzeitproblematik erlaubt in beiden Fällen qualitative Aussagen über den Aufwand, der für eine Realisierung an Mikrorechnern nötig sein wird.

Mit dem Programm PHM 4 wurden u. a. die Einflüsse der Rechenzeit auf Bahnverläufe bei zentraler und dezentraler Entkopplung und Linearisierung untersucht. Im Bild 6 ist z. B. als Ergebnis für das dezentrale Prinzip dargestellt, daß bei einer robusten Bemessung des unterlagerten Reglers und einer Taktzeit von 20 ms bei einer speziellen Aufschaltvariante noch befriedigende Ergebnisse für Aufschaltzeiten der Koordinatorwerte bis zu etwa 400 ms erreicht werden können.

Mit dem Programmsystem SIMROB [6] wurden u. a. Einflüsse starker Modellvereinfachungen bei unterschiedlichen Regleralgorithmen auf den Bewegungsverlauf untersucht. Bild 7 zeigt z. B. für die 1. und 3. Achse eines DDDD-Typs, daß bei einer Reglertaktzeit von 20 ms und einer Berechnung des Modells nur alle 200 ms mit stark angenäherten Metrikelementen die Regelung in der Lage ist, die Restkopplungen abzufangen, wenn man die Größe des Arbeitsbereiches hinreichend berücksichtigt.

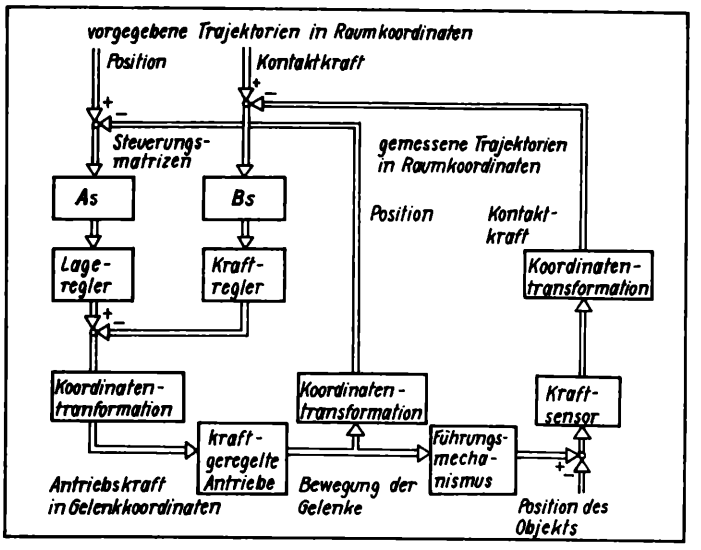


Bild 3. Hybrides Steuerungskonzept [10]

4. Entwicklungstendenzen

In Zukunft ist ein verstärkter Einsatz von Industrierobotern für Montageoperationen zu erwarten. Dadurch sind bereits einige Entwicklungsrichtungen der Robotertechnik vorgegeben. Im folgenden soll kurz auf diese Hauptentwicklungsrichtungen eingegangen werden [15] und [16].

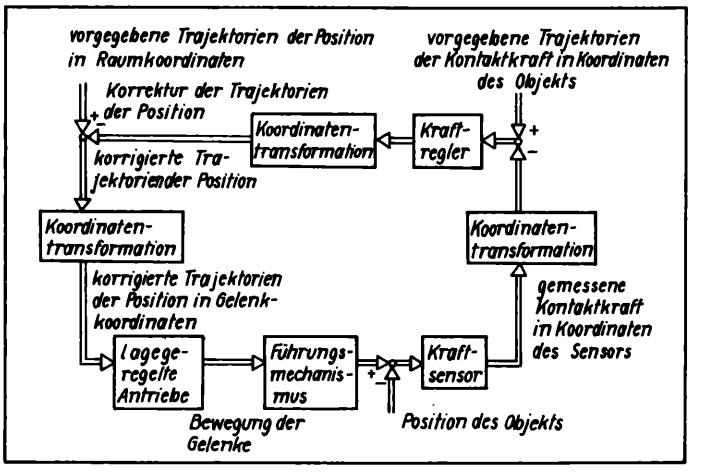
Robotermechanik

Die heute verwendeten Industrieroboter — mit Verhältnissen von Nutzlast zu Gesamtgewicht von 1:10 bis 1:20 und mehr — sind so steif und sperrig ausgeführt, daß ihre dynamischen Gleichungen auf der Basis starrer Mehrkörpersysteme abgeleitet werden können. Zur Verbesserung dieses Verhältnisses, angestrebt wird eine Größenordnung von 1:3 oder darüber, ist die Entwicklung von „Leichtrobotern" erforderlich. Dies führt einerseits auf Werkstoffprobleme, andererseits auf die bereits angedeuteten Probleme bei der Lageregelung. In den für den Reglerentwurf erforderlichen Gleichungen müssen nunmehr auch die elastischen Verformungen berücksichtigt werden.

Der heute übliche Aufbau von Robotern „Antrieb — Übersetzungsgetriebe — Arm" hat einige schwerwiegende Nachteile. Die langen Übertragungswege beeinträchtigen nicht nur das dynamische Verhalten, sondern auch die Positioniergenauigkeit und das Gewichtsverhältnis. Bei den „direct drives" entfällt das Übersetzungsgetriebe, und die Antriebe können direkt an den Gelenken montiert werden.

Das Umgreifen von Hindernissen erfordert Roboter mit mehr als 6 Freiheitsgraden. Diese sind als Roboter mit redundanten Freiheitsgraden in der Literatur bekannt.

Bild 4. Steuerungskonzept mit zusätzlicher Kraftregelung [10]



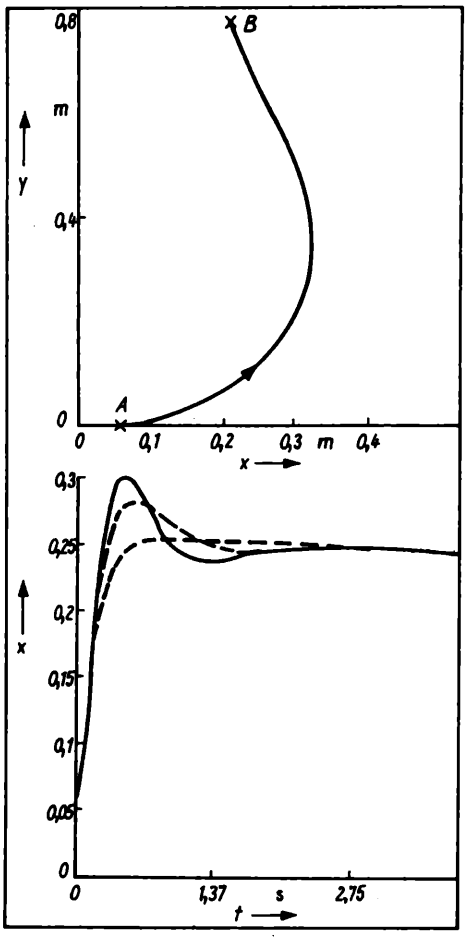


Bild 5. Übergangsfunktionen und Bewegungsbahn für Digitalregler-Einstellungen an einer DSS-Struktur

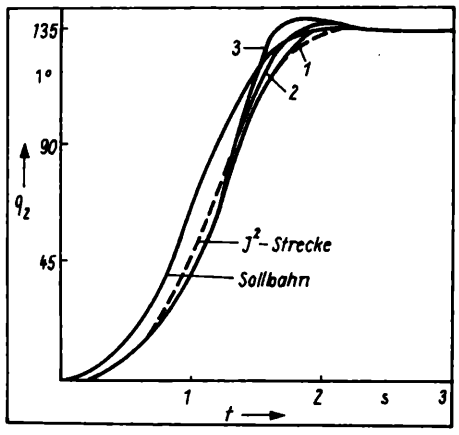


Bild 6. Einfluß der Aufschaltzeiten T_k für Koordinatorwerte auf die Bahnregelung bei dezentralem Arbeitsprinzip
1 T_k = 100 ms; 2 T_k = 200 ms; 3 T_k = 400 ms

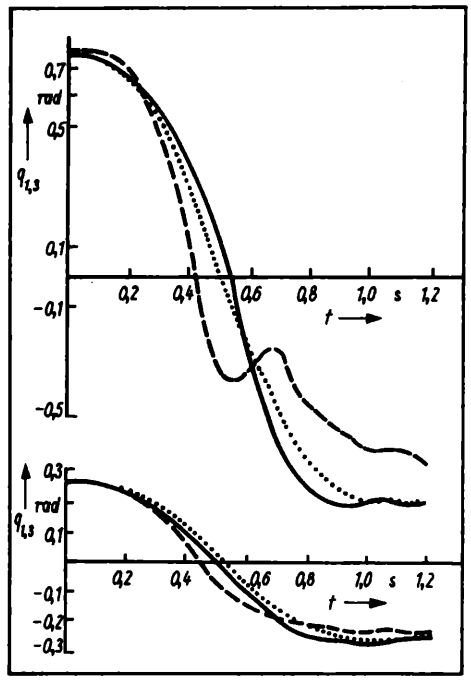


Bild 7. Einfluß der Größe des Arbeitsbereiches auf die Bahnregelung einer DDDD-Struktur
····· Sollkurve; —— q_1 (Achse 1); --- q_3 (Achse 3) ▶

Regelung

Die Ausregelung der Positionierungenauigkeiten durch elastische Verformungen, die bei Leichtrobotern auftreten, bedingt den Einsatz wesentlich komplexerer und leistungsfähigerer Regelalgorithmen. Grundsätzlich wird hier in der Forschung in zwei Richtungen gearbeitet. Entweder werden die Verformungen mit Dehnungsmeßstreifen erfaßt und diese Sensorinformationen in der Regelung verarbeitet oder es erfolgt der Einsatz von „dynamischen Beobachtern". Letztere berechnen aufgrund eines mathematischen Modells die zu erwartenden Verformungen und ändern die Parameter des Regelalgorithmus.
Weitere Forschungsgebiete ergeben sich aus der Einbeziehung von Signalen externer Sensoren in die Regelung und bei der Regelung von GFG mit redundanten Freiheitsgraden.

Sensoren

Derzeit stehen hauptsächlich drei Gruppen von externen Sensoren, häufig nur für Laboranwendungen, zur Verfügung. Es sind dies taktile, visuelle und Näherungssensoren. Taktile Sensoren dienen der Erfassung von Kräften und Momenten meist im „Handgelenk" des Roboters und können in Kraft- und Momentensensoren, Berührungs- und Rutschsensoren eingeteilt werden. Die Gruppe der visuellen Sensoren dient meist zur Werkstückerkennung für Sortiervorgänge. Sie arbeiten mit linearen oder flächenhaften Aufnahmesystemen, meist in Form von Fernsehkameras. Näherungssensoren liefern schließlich Informationen über Anwesenheit, Entfernung und Eigenschaften von Objekten. Für eine zukünftige Anwendung sind an Sensoren die folgenden Anforderungen zu stellen:

— kleine und kompakte Bauweise
— großer Meß- und Überwachungsbereich
— Möglichkeit ein-, zwei- und dreidimensionaler Messungen
— robuste und betriebssichere Bauweise
— preiswert einsetzbar.

Am weitesten fortgeschritten sind derzeit taktile Sensoren, die bereits angewendet werden, aber noch immer zu sperrig ausgeführt sind. Nur beschränkt verfügbar sind heute am Roboter selbst montierte visuelle Sensoren. Hier geht die Entwicklung in Richtung preiswerter „Minifernsehkameras", die bei genügender Auflösung an jeder Stelle des Greifers oder des Greiferführungsgetriebes montiert werden können. Die Weiterentwicklung der Sensortechnik hat maßgeblichen Einfluß auf neue Regelungsstrukturen und -algorithmen.

Weitere Entwicklungsrichtungen

Eng mit den Problemkreisen der Sensoren und der künstlichen Intelligenz verbunden ist die Weiterentwicklung der Werkstückerkennungsverfahren. Mit diesen Hilfsmitteln wird in Zukunft die Lageerkennung von überlappend liegenden Teilen auf Förderbändern, Paletten oder von in Behältern liegenden Teilen möglich sein.
Industrieroboter werden zukünftig für immer komplexere Aufgaben eingesetzt. Der Roboter muß sich daher zwischen verschiedenen festen und beweglichen Hindernissen kollisionsfrei bewegen. Die Roboterbahnen sind demnach vom Steuerrechner so zu bestimmen bzw. zu modifizieren, daß Kollisionen unbedingt vermieden werden.
Die immer größer werdende Bedeutung von flexiblen Fertigungszellen und Fertigungsstraßen bedingt einen größeren Arbeitsbereich der Roboter. Dies führt auf die Entwicklung mobiler Roboter, die sich selbsttätig einen optimalen Weg zwischen verschiedenen Hindernissen suchen. Diese mit Fernsehkameras ausgerüsteten Roboter sollen auch auf nicht ebenem Terrain einsetzbar sein. Die dabei auftretenden theoretischen und praktischen Probleme sind vielfältig und sehr komplex. Derzeit existiert eine Vielzahl von Programmiersprachen, die meist firmenspezifisch auf spezielle Problemstellungen zugeschnitten und vielfach nicht benutzerfreundlich genug, d. h. direkt lesbar und ohne längere Einarbeitungszeit anwendbar sind. Entwicklungstendenzen bilden hier standardisierte Sprachen sowie die auditive Programmierung.

Zusammenfassung

Ausgehend von dem Aufbau und einigen derzeitigen Einsatzgebieten von Industrierobotern erfolgte ein Abschätzungsversuch zukünftiger Entwicklungen. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf Gebieten, auf denen die von den Verfassern geleiteten Arbeitsgruppen an den Universitäten in Wien und Linz sowie der Technischen Hochschule Ilmenau tätig sind.
Auf dem Gebiet der Robotermechanik wird an der Systematisierung der kinematischen und kinetischen Zusammenhänge für „starre"

Roboter sowie an der Entwicklung solcher Zusammenhänge für „flexible" Roboter gearbeitet. Ein weiteres Arbeitsgebiet stellen Roboter mit redundanten Freiheitsgraden und insbesondere deren Regelung dar.
Die Schwerpunkte auf regelungstechnischem Gebiet liegen bei der Berechnung optimaler Sollbahnen sowie der Modifikation und Anwendung „fortgeschrittener" digitaler Regelalgorithmen. Hier ergeben sich die Hauptprobleme bei der Auswahl geeigneter Algorithmen und der Festlegung geeigneter Reglerparameter.

Literatur

[1] Desoyer, K.; Kopacek, P.; Troch, I.: Industrieroboter und Handhabungsgeräte. München: R. Oldenburg Verlag 1985.
[2] Günther, M.; Werth, F.: Bahnregelungen für Industrieroboter. 30. Intern. Wiss. Koll. der TH Ilmenau, 1985, Heft 1, S. 137—140.
[3] Knafel, A.: Adaptive Bahnregelung für Industrieroboter. Dissertation A, TH Ilmenau, 1988.
[4] Latwesen, H.: Steuerungsstrukturen zur Bahnregelung. Dissertation A, TH Ilmenau, 1986.
[5] Troch, I.; Kopacek, P.; Desoyer, K.: Simplified models for robot control. Proceedings of the IFAC Symposium „SYROCO '85", Barcelona, 1985, S. 31—36.
[6] Triller, K.-H.: Einheitliche Beschreibung und Analyse moderner Steuerungskonzeptionen für Industrieroboter auf Grundlage simulativer Untersuchungen. Dissertation A, TH Ilmenau, 1985.
[7] Desoyer, K.; Lugner, P.; Springer, H.: Dynamic effects of active elements in manipulators and their influence upon the controlling drives. IVTAM/IFTOMM Symposium on multibody systems, CISM Udine, September 1985, S. 43—54.
[8] Werth, F.: Beitrag zum Entwurf von dezentral arbeitenden DDC-Bahnregelungen für Industrieroboter. Dissertation A, TH Ilmenau, 1985.
[9] Luh, J.: Simulative Untersuchungen von adaptiven Roboter-Bahnsteuerungen. 33. Intern. Wiss. Koll. der TH Ilmenau, 1988.
[10] Koza, J.: Bahnsteuerung für Roboter mit Kraft-Momenten-Sensorik. Dissertation A, TH Ilmenau, 1986.
[11] Troch, I.; Kopacek, P.; Desoyer, K.: Hybrid Simulation of robot control. Proceedings 11. IMACS World Congress, Oslo, 1985, Band 4, S. 27—30.
[12] Kopacek, P.; Troch, I.: Erstellung von Modellen für die Dynamik von Industrierobotern mit Hilfe hybrider Simulation. In: Informatik Fachbericht Nr. 85. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1984, S. 600—605.
[13] Troch, I.; Kopacek, P.: Optimierung der Lageregelung von Industrieroboter mittels hybrider Simulation. In: Informatik Fachbericht Nr. 85. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1984, S. 606 bis 610.
[14] Hittmair, R.: Kinetik von Industrierobotern. Dissertation, TU Wien, 1988.
[15] Desoyer, K.; Kopacek, P.; Lugner, P.; Troch, I.: Flexible Robots — a Survey. Preprints of the IFAC Symposium "Theory of Robots", Wien, 1986.
[16] Desoyer, K.; Kopacek, P.; Lugner, P.; Troch, I.: Flexible Robots. Erscheint in: Intelligent Robotic Systems: Analysis, Design and Programming. New York: M. Dekker Inc. 1988.

msr 8931

Abonnement 1989

Hinweis für unsere ausländischen Leser

Bitte erneuern Sie rechtzeitig Ihr Abonnement für die Fachzeitschrift „messen • steuern • regeln", damit Sie sich für 1989 wieder den Bezug aller Ausgaben sichern.
Wir freuen uns, daß Sie auch weiterhin zu den regelmäßigen Lesern unserer Publikation gehören.

Не забудьте заблаговременно продлить подписку на журнал „messen • steuern • regeln" на 1989 год, чтобы исключить перебои в получении всех номеров журнала в течение всего года.
Мы рады, что вы и дальше будете регулярными читателями нашей публикации.

Please renew your subscription to the journal „messen • steuern • regeln" in time, in order to provide again the delivery of all issues of the 1989 volume.
We are glad, that you will belong to the readers of our periodical in future, too.

Nous vous prions de renouveler à temps l'abonnement à votre périodique professionel „messen • steuern • regeln" pour s'assurer de la réception de toutes les éditions en 1989.
Nous réjouissons, que vous seriez encore notre lecteur.

H. Rudolph

CAD/CAM-Arbeitsplatz für Reglerentwurf und -implementierung auf Basis des Arbeitsplatzcomputers A 7100

0. Einleitung

Die Automatisierung industrieller Produktionsprozesse unter Verwendung von Rechnern führt infolge steigender Qualitätsansprüche an die Finalprodukte sowie steigender Forderungen hinsichtlich Minimierung von Material- und Energieverbrauch sowie Umweltbelastung zunehmend zu Automatisierungsaufgaben, für die es in der Vergangenheit keine Vorbildlösungen gibt. Zur Beherrschung dieser Situation trägt auch der zielstrebige Einsatz von Methoden der modernen Regelungs- und Steuerungstheorie bei. Die erforderliche Breitenwirksamkeit läßt sich aber erst dann erreichen, wenn diese Methoden in anwenderfreundlich aufbereiteter und flexibel nutzbarer Form den Automatisierungsingenieuren in der Projektierungs-, Entwurfs-, Implementierungs- und Einfahrphase auf leistungsfähiger dezentraler Rechentechnik am Arbeitsort zur Verfügung stehen. Mit dem 16-bit-Arbeitsplatzcomputer A 7100 ist heute eine Rechentechnik vorhanden, die es gestattet, einen ersten Schritt in dieser Richtung zu tun. Damit werden für die Automatisierungspraxis schlagartig Methoden interessant, die bisher nur vereinzelt und meist in Verbindung mit Groß- oder Kleinrechnern angewandt wurden. Weiterhin kommt die o. g. 16-bit-Mikrorechentechnik nicht nur für den funktionellen Entwurf komplizierter Regelungen, sondern auch für deren Realisierung in Betracht. Damit werden sowohl CAD- als auch CAM-Aufgaben der Automatisierung im Kontext ein und derselben Rechentechnik angesprochen, so daß sich die Schaffung komplexer Entwurfshilfsmittel in Form automatisierungsorientierter CAD/CAM-Arbeitsplätze heute auch für theorieintensive Automatisierungslösungen anbietet. Nachstehend werden regelungs- und softwaretechnische Gestaltungsgesichtspunkte sowie das Softwarekonzept eines derartigen Arbeitsplatzes erörtert und dessen Reaktionszeitverhalten anhand von Rechenzeiten für numerikintensive Entwurfsteilschritte veranschaulicht.

1. Anforderungen aus dem Regelungsentwurf

Der Arbeitsplatz ist primär an anspruchsvollen Regelungen einer speziellen Mikrorechner-Aggregatautomatisierung orientiert. Er soll aber auch für den Entwurf moderner Regelungsalgorithmen in der mikrorechnergestützten verfahrenstechnischen Prozeßautomatisierung eingesetzt werden [1]. Die regelungstechnische Aufgabenstellung (Bild 1) umfaßt acht Teilaufgaben, wovon die ersten fünf dem CAD-Bereich, die letzten drei dem CAM-Bereich zuzuordnen sind:

- Bearbeitung von Prozeßprimärmodellen zur Gewinnung solcher Prozeßbeschreibungen (Sekundärmodelle), auf denen der regelungstheoretische Systementwurf aufgebaut werden kann (Modelltransformation, -vereinfachung, -aggregierung, -linearisierung, Parameterschätzung)
- Simulation des Prozeßverhaltens bei typischen Eingangssignalen oder punktweise vorgegebenen Eingangssignalfolgen
- Funktioneller Entwurf des Reglers (strukturelle und/oder parametrische Synthese des Regelungsalgorithmus)
  Dazu gehören:
  - einvariable diskrete Regler, entworfen nach unterschiedlichen Kriterien, wie
    Zeitbereichskenngrößen (z. B. klassische PID-Regler-Dimensionierung)
    Deadbeat-Regelung
    Optimalregler
  - mehrvariable diskrete Optimalregler
  - ein- und mehrvariable adaptive diskrete Regler, entworfen nach
    modelladaptivem Prinzip
    Selftuning-Prinzip
- Simulation des Regelungssystems unter Verwendung des
  - Sekundärprozeßmodells zur prinzipiellen Überprüfung des Entwurfsergebnisses
  - Primärprozeßmodells zur Überprüfung der Zulässigkeit der für den Reglerentwurf getroffenen Prozeßmodellvereinfachungen
- Entwurfsbegleitende Analysen zur vertieften Untersuchung von Systemeigenschaften

  Hierzu gehören z. B. Stabilitätsanalysen, Empfindlichkeits- und Robustheitsanalysen, die Ermittlung von Pol-Nullstellen-Verteilungen, Eigenwerten, Eigenvektoren und Wurzelortskurven sowie die Transformation von Systembeschreibungen aus dem Zeit- in den Frequenzbereich und umgekehrt.
- Entwurf der On-line-Algorithmen für den in der Automatisierungseinrichtung befindlichen Mikrorechner (OEM-Rechner), der den entworfenen Regelungsalgorithmus realisiert.
  Hier sind außerdem die regelungstheoretische Lösung durch spezielle Ein- und Ausgabefunktionen sowie die für den Betrieb erforderlichen Kommunikationsfunktionen zu ergänzen und ggf. besondere Maßnahmen im Falle zeitkritischer Regelungen zu treffen.

Dr.-Ing. HANS RUDOLPH (52) studierte nach Abitur und Ausbildung zum Elektromechaniker von 1954 bis 1959 Signal- und Fernmeldetechnik an der Hochschule für Verkehrswesen Dresden. 1956 bis 1958 Studium der Ingenieurpädagogik für Elektrotechnik an der TH Dresden. 1959 Beginn der Tätigkeit an der AdW der DDR als Entwicklungsingenieur. 1972 Promotion A. Tätigkeiten zur Analogrechnerentwicklung, Regelsystemsynthese und -simulation, Mikrorechnerapplikation und zum interaktiven rechnergestützten Entwurf. Abteilungsleiter im Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR, Institutsteil Dresden.

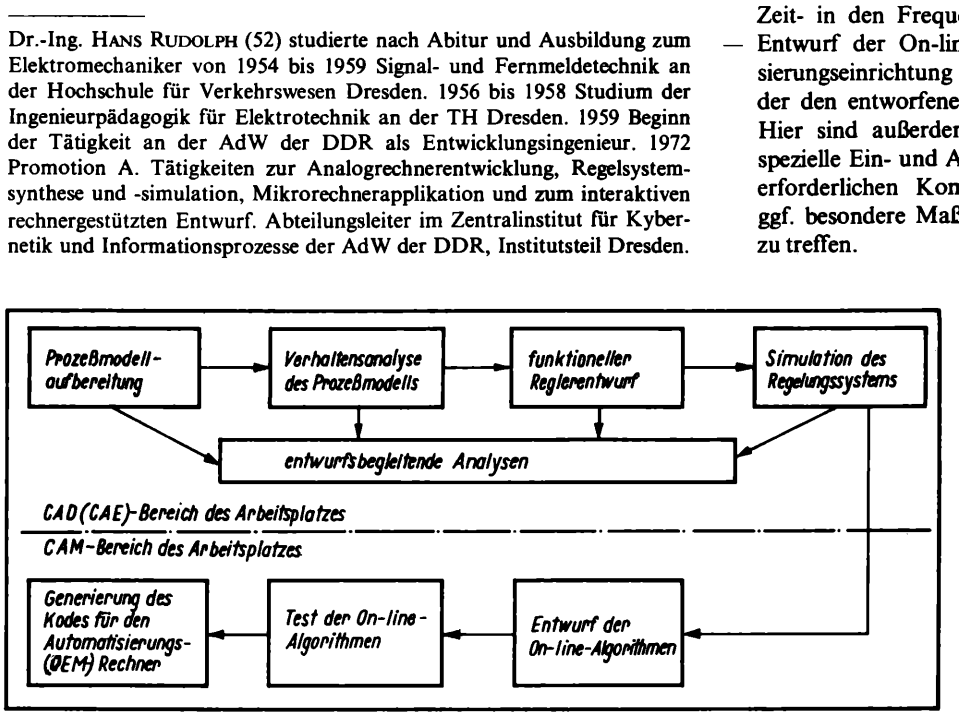


Bild 1. Übersicht über die Aufgaben des CAD/CAM-Arbeitsplatzes

— Test der On-line-Algorithmen auf dem Arbeitsplatz
— Generierung des abarbeitungsfertigen Maschinencodes für den Automatisierungsrechner.

2. Softwaretechnische Anforderungen

Softwaretechnologische Aspekte der Automatisierung [2] und Grundsätze, die sich bei der Gestaltung interaktiver Systeme auf Kleinrechnern [3] als wesentlich herausgestellt haben, bilden prinzipielle Anforderungen an Entwicklung und Strukturierung der Arbeitsplatzsoftware. Beim Einsatz des A 7100 ergibt sich zusätzlich die Frage nach dem Betriebssystem, das die zu lösenden Aufgaben bestmöglich unterstützt. Für den Arbeitsplatz wurde das echtzeitorientierte Betriebssystem BOS 1810 [4] zugrunde gelegt. Zu den Anforderungen aus softwaretechnischer und arbeitsökonomischer Sicht gehören weiterhin:

— konsequente Inanspruchnahme aller Dienste des Betriebssystems, solange dem nicht Speicherplatz- oder Reaktionszeitanforderungen entgegenstehen
— Verwendung bzw. Schaffung wohldefinierter Interfaces im Softwarepaket zur Absicherung der Übersichtlichkeit für dessen Entwicklung sowie spätere Wartung und Weiterentwicklung beim Anwender
— Einsatz derjenigen Programmiersprachen und interaktiven Programmiersysteme, die es gestatten, die Arbeitsplatzfunktionen mit einem Minimum an aufgabenunabhängiger Programmierarbeit zu realisieren
— Übernahme bewährter numerischer Routinen aus Bibliotheken bzw. Algorithmen erprobter Programme, um Wiederholentwicklungen in der Anwendungssoftware weitestgehend zu vermeiden
— interaktive Verfügbarkeit aller Softwarekomponenten des Arbeitsplatzes im Nutzerinterface, d. h. nicht nur die Hauptfunktionen des Arbeitsplatzes, sondern auch alle Teilfunktionen bis hinunter zu Grundroutinen sollten, besonders im Hinblick auf Nutzer aus F/E-Bereichen, einfach erreichbar und kombinierbar sein. Dies ist von besonderer Bedeutung für die Anstriche 5, 6 und 7 im Abschn. 1. (entwurfsbegleitende Analysen im CAD-Bereich, Entwurf und Test der On-line-Algorithmen im CAM-Bereich des Arbeitsplatzes).
— Orientierung auf solche Softwarewerkzeuge, die gleichermaßen rationalisierend bei Entwicklung, Nutzung, Wartung und Weiterentwicklung des Arbeitsplatzes einsetzbar sind.

3. Softwarekonzept

3.1. Programmiersprachen und -werkzeuge

Die Entscheidung für das Betriebssystem BOS 1810 führte zunächst zur Wahl von PL/M-86 [5] als höherer Programmiersprache sowohl

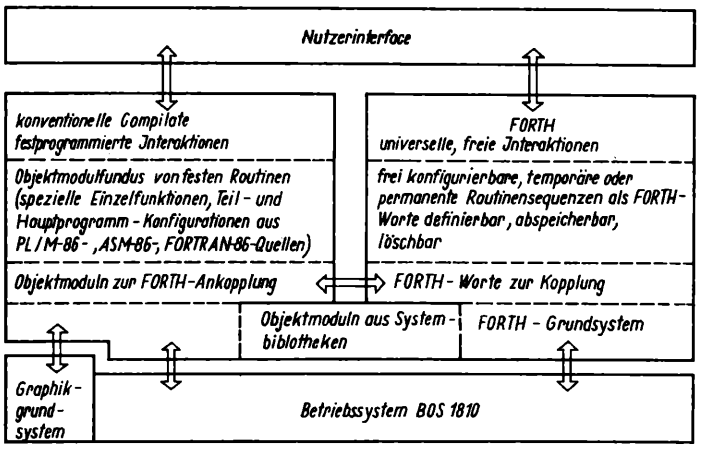


Bild 2. Software-Modell des CAD/CAM-Arbeitsplatzes

für den CAD- als auch für den CAM-Bereich des Arbeitsplatzes. PL/M-86 ist eine sehr flexible Programmiersprache, die gegenüber ihrem Vorgänger PL/M-80 vor allem um die REAL-Größen-Definition und -Verarbeitung erweitert wurde. Ihre Flexibilität kommt dem Entwurf wie der Realisierung von Reglern sehr entgegen. Ein Nachteil ist das Fehlen von Ein- und Ausgabefunktionen für Zahlen aller Typen und Zeichenketten, so daß entsprechend Moduln [6] unter Verwendung von Betriebssystemfunktionen programmiert werden müssen. Der optimierende PL/M-86-Computer erzeugt einen relativ kompakten, gegenüber der Programmierung in Assemblersprache nicht wesentlich verlängerten Kode (Zeitfaktor etwa 2) und bestätigt die bereits mit PL/M-80 gewonnenen guten Erfahrungen [7] hinsichtlich Speicherplatz und Effizienz des exekutierbaren Kodes. Dennoch wird es für die mit dem Arbeitsplatz zu entwerfenden zeitkritischen Regelungen (Abtastzeiten im Millisekundenbereich) notwendig, die Leistungsfähigkeit der Hardware voll auszuschöpfen. Dem dienen die drei folgenden Maßnahmen [8]:

— Programmierung einer Reihe von Moduln für die Echtzeitprogramme in der 8086-Assemblersprache [9]
— Verlassen der beim PL/M-86-Compiler [5] üblichen Methode, die aktuellen Parameter bei Prozeduraufrufen über den Stack zu vermitteln. Statt dessen werden diese Parameter in den zeitbestimmenden On-line-Programmteilen über Register der CPU vermittelt, wodurch wesentliche Zugriffszeiten zum Hauptspeicher eingespart werden.
— Reduktion der Anzahl von Prozeduraufrufen zu Lasten des Speicherplatzes durch Entwicklung aufgabenbezogener Kode-Makros [9], die praktisch den ASM-86-Assemblierer problemspezifisch erweitern.

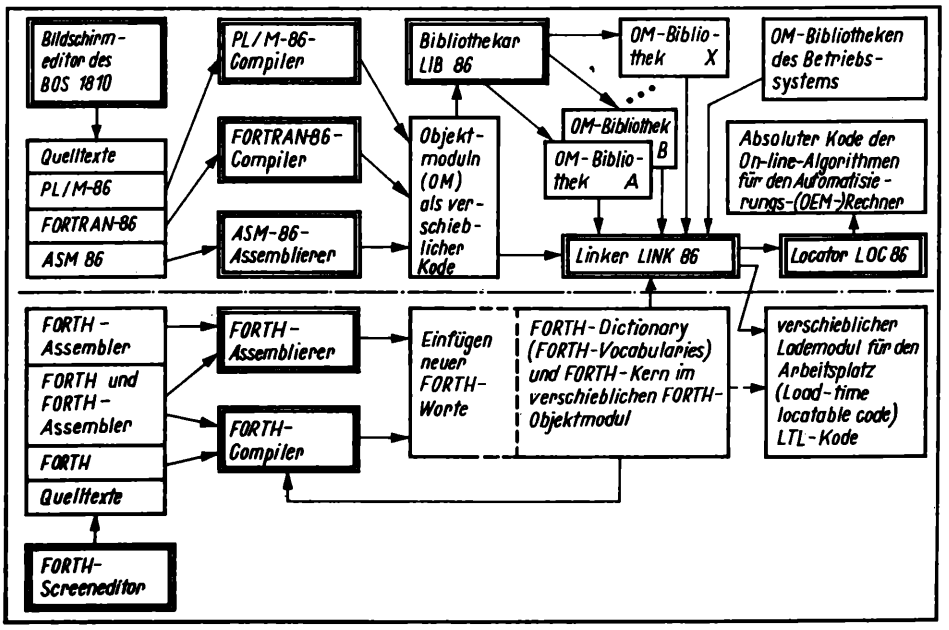


Bild 3. Entwicklungs- und Wartungswerkzeuge des Arbeitsplatzes (doppelt umrandet) sowie Erscheinungsformen der Arbeitsplatz- und Automatisierungssoftware (einfach umrandet)

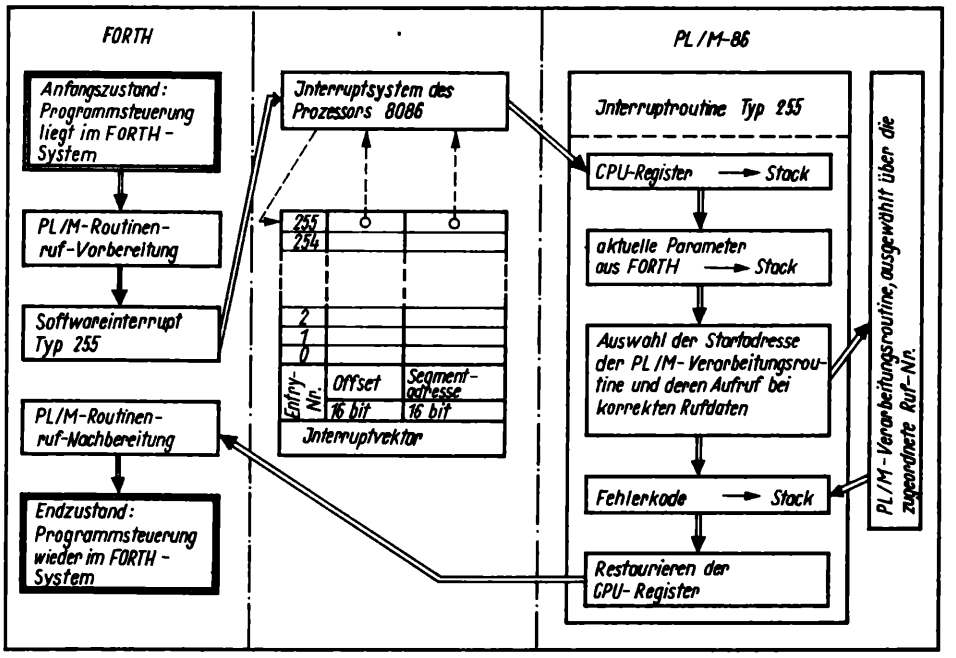


Bild 4. Prinzip der Kopplung zwischen FORTH und PL/M-86 auf dem Arbeitsplatzcomputer A 7100
(⇒ markiert Übergabe der Programmsteuerung)

Tafel 1. Rechenzeiten für die Wurzelbestimmung von Polynomen mit FORTRAN-Programmen auf dem A 7100

	Grad des Polynoms n		4	5	6	7	8	9	10
Rechenzeit in s	Lösungsverfahren nach [23]	Emulator für Gleitkommaarithmetik	30	238	69	186	147	691	258
		Gleitkommaprozessor 8087	0,79	6,15	1,8	4,8	3,8	18,4	6,8
	Kombiniertes Verfahren nach [22]	Emulator für Gleitkommaarithmetik	33,8	122,5	50,2	118,5	96	407	190
		Gleitkommaprozessor 8087	1,15	4,1	1,84	4,3	3,45	14	8,6

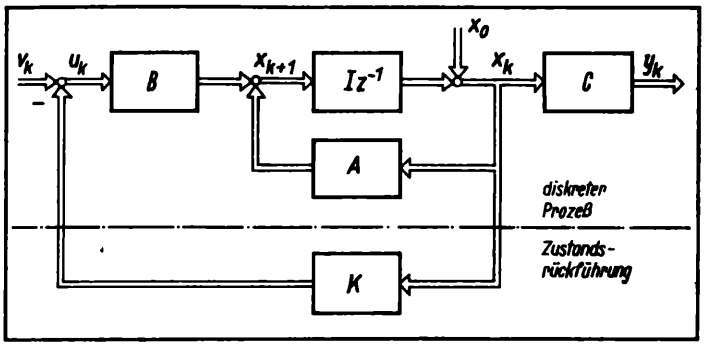
Die Übernahme von Algorithmen [10], die in FORTRAN IV PLUS für SM4-20/K1630 entwickelt wurden, in den CAD-Bereich des Arbeitsplatzes ohne vollständige Neuprogrammierung erfordert, daß auch FORTRAN in der Version von FORTRAN-86 als weitere Quellsprache benutzt werden muß.

Besonders der fünfte Anstrich im Abschn. 2. (interaktive Verfügbarkeit der Softwarekomponenten) verlangt eine Ausstattung des Nutzerinterfaces mit ausgeprägten Interaktionsfähigkeiten. Dazu bietet sich die interaktive Programmiersprache FORTH [11] bis [13] an, die unter Verwendung der an den Standard 83 angelehnten Version [14] in einer Implementierung nach [15] für den Arbeitsplatz zugrunde gelegt wird. FORTH hatte sich bereits bei Generierung und Test des Maschinenkodes von adaptiven Reglern für 8-bit-Mikrorechner bewährt [16] bis [19]. Hier wird FORTH als universelle Interaktionsschicht für den gesamten Arbeitsplatz benutzt. Das im Softwarekonzept des Arbeitsplatzes verwendete Softwaremodell und die eingesetzten Software-Entwicklungs- und -Wartungswerkzeuge gehen aus den Bildern 2 und 3 hervor. Der unterhalb der Strich-Punkt-Linie im Bild 3 befindliche Bereich kennzeichnet gleichzeitig diejenigen Softwarewerkzeuge, die auch in der Nutzungsphase des Arbeitsplatzes interaktiv verfügbar sind.

3.2. Kopplung zwischen FORTH und PL/M-86

Zur Realisierung der Kopplung zwischen FORTH und PL/M-86-Objektmoduln wird das Interrupt-System des Prozessors 8086 [20] ausgenutzt, das es gestattet, zwischen 256 verschiedenen Interruptreaktionsroutinen zu unterscheiden. Beim Auftreten eines maskierbaren Interrupts wird die dem Interrupttyp entsprechende Routinenadresse (4 byte) dem im unteren Teil des Hauptspeichers abgelegten Interruptvektor entnommen. Andererseits gestattet PL/M-86 [5] die Definition von Interruptprozeduren mit einer Nummer (Typ), die auf die zuzuordnende Komponente des Interruptvektors verweist. Wird nun ein Interrupt dieses Typs ausgelöst, der auch ein Softwareinterrupt sein kann, so wird die zugehörige PL/M-86-Interruptroutine gestartet. Das Auslösen dieses Interrupts ist nun Aufgabe des FORTH-Systems. Es geschieht durch ein sogenanntes Primary-FORTH-Wort, d. h. durch ein in 8086-FORTH-Assemblersprache [14] geschriebenes FORTH-Wort, das einen Interruptbefehl der entsprechenden Nummer enthält. Wird dieses Wort aktiviert, so

Bild 5. Zustandsdarstellung von diskretisiertem Prozeß mit Zustandsrückführung
z Bildvariable der z-Transformation; I Einheitsmatrix



geht die Prozessorsteuerung an die PL/M-86-Interruptroutine über und wird nach deren Abarbeitung an das FORTH-System zurückgegeben (Bild 4).
Da auf der PL/M-86-Seite eine ganze Reihe von Verarbeitungsfunktionen (Prozeduren, Moduln, Teil- und Gesamtprogramme) interaktiv aus FORTH startbar sein müssen, wird nicht für jede Funktion eine separate Interruptnummer vergeben, sondern alle Funktionen werden über ein und dieselbe Interruptnummer und eine in einem CPU-Register übergebene Rufnummer, die auf der PL/M-86-Seite durch die Unterruptroutine in einem Verteiler ausgewertet wird, aktiviert (s. Bild 4). Falls Parameter zu übergeben sind, so geschieht dies durch Übermittlung der Anfangsadresse der Parameterliste in einem weiteren CPU-Register. Dieses Verfahren der Kopplung zwischen FORTH und PL/M-86 macht die Entwicklung und Pflege der Arbeitsplatzsoftware unabhängig von absoluten Adressen und erhält dem Anwendungslader des BOS 1810 alle Freiheiten für die Belegung des Hauptspeichers im A 7100. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß alle PL/M-86-Programme und -Routinen (solange der Hauptspeicher reicht und nicht mit Überlagerungstechnik gearbeitet werden muß) ständig abrufbereit im Hauptspeicher stehen und nicht wie beim üblichen Programmstart erst von Diskette geladen werden müssen. Dies kommt der Forderung nach möglichst kurzen Arbeitsplatzreaktionszeiten im interaktiven Betrieb entgegen.

4. Veranschaulichung des Reaktionszeitverhaltens des Arbeitsplatzes anhand numerikintensiver Entwurfsteilaufgaben

4.1. Pol-Nullstellen- und Frequenzgangberechnungen

Ein für Test- und Vergleichszwecke günstiges Beispiel bildet die Kreisteilungsgleichung [21]

$$s^m - 1 = 0\,, \tag{1}$$

die nach Dividieren durch $s - s_1$ (mit der Wurzel $s_1 = 1$) dem Polynom vom Grade $n = m - 1$

$$s^n + s^{n-1} + \ldots + s^2 + s + 1 = 0 \tag{2}$$

entspricht. Tafel 1 zeigt die bei der Lösung von (2) auf dem A 7100 erforderlichen reinen Rechenzeiten [22]. Der Gleitkommaprozessor reduziert gegenüber der Softwarearithmetik die Rechenzeit auf 2,6 bis 3,6%. Das kombinierte Verfahren ist im Falle verschiedener Wurzeln anwendbar. Dabei liefert der Algorithmus nach [23] eine Startlösung für das Verfahren nach [24].
Für die Berechnung des Frequenzganges sei das Prozeßbeispiel 1 im Bild 6 zugrunde gelegt. Die Ermittlung von Real- und Imaginärteil, Betrag und Phase des Frequenzganges für 41 Frequenzstützpunkte benötigte eine Rechenzeit von 16 s bei Softwarearithmetik und von 0,33 s bei Einsatz des Gleitkommaprozessors [22], was einer Reduktion der Rechenzeit auf 2,1% entspricht.

4.2. Entwurf und Simulation optimaler diskreter Regelungen mit Zustandsrückführung

4.2.1. Entwurfskriterium und -verfahren

Der Entwurf basiert auf der diskreten Zustandsbeschreibung des Prozesses

$$\begin{aligned} \boldsymbol{x}_{k+1} &= \boldsymbol{A}\boldsymbol{x}_k + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}_k\,, \\ \boldsymbol{y}_k &= \boldsymbol{C}\boldsymbol{x}_k\,, \end{aligned} \tag{3}$$

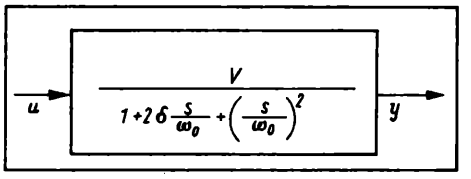


Bild 6. Prozeßbeispiel 1 ω_0 ungedämpfte Eigenfrequenz; δ relative Dämpfung; V statischer Übertragungsfaktor

wobei $\boldsymbol{x}_k$, $\boldsymbol{u}_k$ und $\boldsymbol{y}_k$ den diskreten Zustands-, Steuerungs- und Ausgangsvektor sowie $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$ und $\boldsymbol{C}$ die System-, Steuerungs- und Ausgangsmatrix des diskretisierten Prozesses bedeuten. Bild 5 zeigt das entsprechende Zustandsmodell einschließlich der Rückführmatrix $\boldsymbol{K}$, die hier das Ziel des Entwurfs bildet. Dabei soll eine solche Steuerung $\boldsymbol{u}_k$ aus dem Zustand $\boldsymbol{x}_k$ abgeleitet werden, die das geregelte System aus einem beliebigen Anfangszustand $\boldsymbol{x}_0$ in den Endzustand $\boldsymbol{x}_k \to \boldsymbol{0}$ für $k \to \infty$ überführt. Dies läßt sich durch Minimierung eines Gütemaßes der Form

$$G = \boldsymbol{x}_N^T \boldsymbol{Q} \boldsymbol{x}_N + \sum_{k=0}^{N-1} \boldsymbol{x}_k^T \boldsymbol{Q} \boldsymbol{x}_k + \boldsymbol{u}_k^T \boldsymbol{R} \boldsymbol{u}_k \tag{4}$$

bezüglich der Steuerungsfolge $\boldsymbol{u}_k$ erreichen [25], wobei $\boldsymbol{Q}$ und $\boldsymbol{R}$ positiv definite symmetrische Bewertungsmatrizen sind. Dieser Optimierungsansatz führt, z. B. unter Anwendung des Bellmanschen Optimalitätsprinzips, zu den beiden rekursiven Gleichungen [25] und [26]

$$\boldsymbol{K}_{N-j} = (\boldsymbol{R} + \boldsymbol{B}^T \boldsymbol{P}_{N-j+1} \boldsymbol{B})^{-1}\, \boldsymbol{B}^T \boldsymbol{P}_{N-j+1} \boldsymbol{A}\,. \tag{5}$$

$$\boldsymbol{P}_{N-j} = \boldsymbol{Q} + \boldsymbol{A}^T \boldsymbol{P}_{N-j+1} [\boldsymbol{I} - \boldsymbol{B}(\boldsymbol{R} + \boldsymbol{B}^T \boldsymbol{P}_{N-j+1} \boldsymbol{B})^{-1}\, \boldsymbol{B}^T \boldsymbol{P}_{N-j+1}]\, \boldsymbol{A}\,, \tag{6}$$

die zunächst einen zeitvariablen diskreten Zustandsregler definieren ($\boldsymbol{I}$ Einheitsmatrix). (6) ist eine Matrix-Riccati-Differenzengleichung, die rekursiv für $j = 1, 2, \ldots, N$ mit der Anfangsmatrix $\boldsymbol{P}_N = \boldsymbol{Q}$ oder $\boldsymbol{P}_N = \boldsymbol{0}$ gelöst wird. Für $N \to \infty$ konvergiert dabei $\boldsymbol{P}_{N-j}$ relativ schnell gegen $\boldsymbol{P}_0$ [25], so daß für den interessierenden endlichen Zeitbereich der Systemdynamik eine invariante Matrix $\boldsymbol{P} = \boldsymbol{P}_0$ und damit wegen (5) eine invariante Rückführmatrix $\boldsymbol{K} = \boldsymbol{K}_0$ vorliegt. Die rekursive Berechnung von $\boldsymbol{P}_{N-j}$ wird abgebrochen, sobald für das relative Änderungsmaß

$$\frac{\|\boldsymbol{P}_{N-j-1} - \boldsymbol{P}_{N-j}\|}{\|\boldsymbol{P}_{N-j-1}\|} \leqq \varepsilon \tag{7}$$

gilt, wobei die euklidische Norm benutzt wird.
Die Simulation des ungeregelten Prozesses erfolgt auf Basis der rekursiven Zustandsgleichungen (3), während sich für das optimal rückgeführte System aus Bild 5 als Rekursionsbeziehung für den Zustand

$$\boldsymbol{x}_{k+1} = (\boldsymbol{A} - \boldsymbol{B}\boldsymbol{K}_0)\, \boldsymbol{x}_k + \boldsymbol{B}\boldsymbol{v}_k \tag{8}$$

ergibt, wobei $\boldsymbol{v}_k$ den Vektor einer äußeren Einwirkung darstellt.
Man erkennt den Vorzug der diskreten Systembeschreibung, die für Optimierung und Simulation auf rekursive Beziehungen führt und damit im Gegensatz zum kontinuierlichen Ansatz automatisch die Vorschrift für den numerischen Lösungsalgorithmus liefert.

4.2.2. Diskrete Zustandsbeschreibung der Testbeispiele

Als Prozeßbeispiele werden die kontinuierlichen SISO-Regelstrecken gemäß Bild 6 (Prozeßbeispiel 1) und Bild 7 (Prozeßbeispiel 2) zu-

Tafel 2. Parameter der Zustandsbeschreibung des diskretisierten Prozesses von Prozeßbeispiel 1

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0{,}9690 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{b}^T = [0 \quad 1]$$

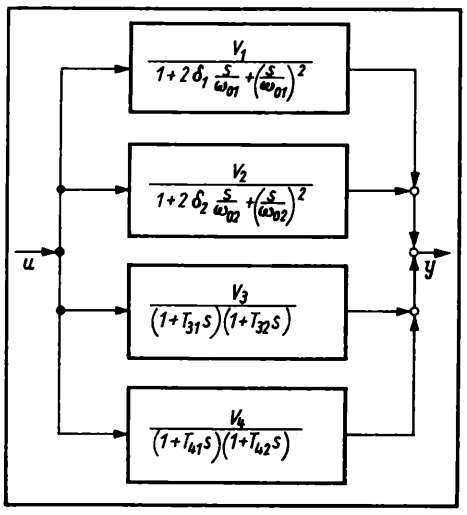
$$\boldsymbol{c}^T = [0{,}9789 \quad 0{,}9901]$$

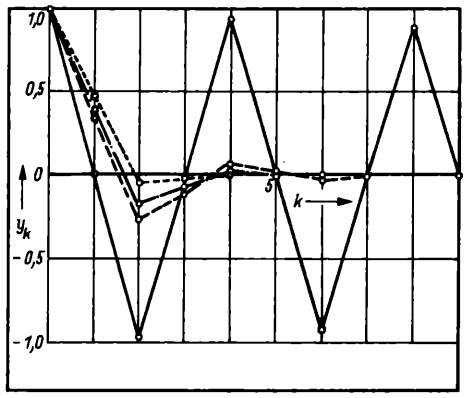
Tafel 3. Parameter der Zustandsbeschreibung des diskretisierten Prozesses von Prozeßbeispiel 2

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0{,}9690 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0{,}9896 & 1{,}7230 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0{,}0949 & 0{,}6642 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0{,}4002 & 1{,}2679 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{b}^T = [0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1]$$

$$\boldsymbol{c}^T = [0{,}9789 \quad 0{,}9901 \quad 0{,}1331 \quad 0{,}1335 \quad 0{,}1349 \quad 0{,}2958 \quad 0{,}0561 \quad 0{,}0762]$$





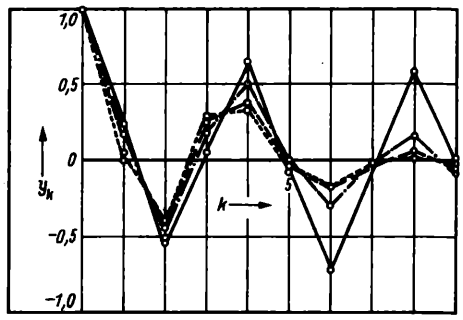


Bild 7. Prozeßbeispiel 2
ω_{01}, ω_{02} ungedämpfte Eigenfrequenzen; δ_1, δ_2 relative Dämpfungen; V_1, V_2, V_3, V_4 statische Übertragungsfaktoren

Bild 8. Simulationsergebnisse für Prozeßbeispiel 1
Parameter: Stellgrößenwichtungsfaktor R_{11}
——— ungeregeltes System; optimal geregelte Systeme: — — — $R_{11} = 1{,}0$, —·—·— $R_{11} = 0{,}5$, ·-·-·-·- $R_{11} = 0{,}1$

Bild 9. Simulationsergebnisse für Prozeßbeispiel 2
Parameter: Stellgrößenwichtungsfaktor R_{11}
——— ungeregeltes System; optimal geregelte Systeme: —·—·— $R_{11} = 10$, — — — $R_{11} = 1$, ·-·-·-·- $R_{11} = 0{,}1$

grunde gelegt und ihnen zur Kombination mit einem diskreten Regler jeweils ein Halteglied 0-ter Ordnung [25] und [26] mit der Übertragungsfunktion

$$H(s) = \frac{1 - e^{-sT_a}}{s} \tag{9}$$

vorgeschaltet. Dabei ist T_a die Abtastperiode des diskreten Reglers, die so festzulegen ist, daß das Abtasttheorem [25] und [26] erfüllt wird, d. h., daß für die Abtastkreisfrequenz

$$\omega_a = \frac{2\pi}{T_a} \geqq 2\omega_{grenz} \tag{10}$$

gilt. Da die Dynamik beider Prozeßbeispiele durch sehr schwach gedämpfte Schwingungen gekennzeichnet sein soll, wird als Prozeßgrenzfrequenz ω_{grenz} die gedämpfte Eigenfrequenz

$$\omega_d = \omega_0 \sqrt{1 - \delta^2} \tag{11}$$

angesetzt, womit aus (9)

$$T_a \leqq \frac{\pi}{\omega_d} \tag{12}$$

folgt. Gewählt wird $T_a = \pi/2\omega_d$. Die Parameter der Prozeßbeispiele nach Bild 6 und Bild 7 seien $V = V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = 1$, $\delta = \delta_1 = \delta_2 = 0{,}01$, $\omega_0 = \omega_{01} = 1\,s^{-1}$, $\omega_{02} = 0{,}3333\,s^{-1}$, $T_{31} = 1$ s, $T_{32} = 2$ s, $T_{41} = 3$ s und $T_{42} = 4$ s. Daraus folgt für die Tastperiode in beiden Beispielen $T_a = 1{,}57$ s. Nach z-Transformation [25] und [26] der jeweils aus Prozeßübertragungsfunktion und Halteglied gebildeten Gesamtübertragungsfunktion und unter Beachtung der Zusammenhänge zwischen diskreter Übertragungsfunktion und diskreten Zustandsgleichungen [25] und [26] ergeben sich die in den Tafeln 2 und 3 zusammengefaßten Parameter der diskreten Prozeßbeschreibungen. Dabei wurden im Prozeßbeispiel 2 den einander parallel geschalteten Teilprozessen 1, 2, 3 und 4 (Bild 7) jeweils die Komponenten x_1 und x_2, x_3 und x_4, x_5 und x_6, x_7 und x_8 des Gesamtzustandsvektors zugeordnet. Die Matrizen $\boldsymbol{B}$ und $\boldsymbol{C}$ aus Bild 5 und (3) reduzieren sich auf die Parametervektoren $\boldsymbol{b}$ und $\boldsymbol{c}^T$, die Stellgrößenbewertungsmatrix $\boldsymbol{R}$ in (4) auf den Skalar R_{11}. Für die Bewertung der Zustandsgrößen in (4) wird die Einheitsmatrix $\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{I}$ und als Abbruchschranke in (7) $\varepsilon = 0{,}001$ festgelegt, während die Stellgrößenbewertung R_{11} als freier Entwurfsparameter anzusehen ist.

4.2.3. Entwurfs- und Simulationszeiten

Unter Verwendung einer in PL/M-86 entwickelten Software [6] [27] und [28] ergaben sich für die Lösung der Matrix-Riccati-Differenzengleichung einschließlich Berechnung der optimalen Rückführmatrix $\boldsymbol{K}_0$ die in Tafel 4 angegebenen Iterationsschritte und Rechenzeiten, die allerdings noch den Ausdruck eines Iterationsprotokolls beinhalten. Daher tritt der Effekt des Gleitkommaprozessors nur bei Prozeßbeispiel 2 markant hervor (Reduktion der mittleren Rechenzeit je Iterationsschritt auf 4,4%).
Die Beurteilung der Entwurfsergebnisse erfolgt auf Basis einer Simulation. Dabei seien jeweils Reaktionen auf einen normierten Anfangswertvektor mit den identischen Komponenten

$$x_{i0} = \frac{1}{\sum_{j=1}^{n} c_j} \quad \text{für} \quad i = 1, 2, \ldots, n \tag{13}$$

Tafel 4. Rechenzeiten für die Lösung der Matrix-Riccati-Differenzengleichung mit PL/M-86-Programmen auf dem A 7100

Prozeßbeispiel	1							2						
Wichtungsfaktor R_{11}		0,02	0,05	0,1	0,5	0,8	1	0,1	0,2	0,5	0,8	1	5	10
Softwareemulator für Gleitkommaarithmetik	Anzahl der Iterationen	4	5	5	7	8	8	14	14	14	14	14	17	18
	Rechenzeit je Iteration in s	1,25	1,2	1,2	1,3	1,25	1,25	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	12,8	12,8
	Gesamtrechenzeit in s	5	6	6	9	10	10	186	186	186	186	186	217	230
Gleitkommaprozessor 8087	Anzahl der Iterationen	4	5	5	7	8	8	21	21	21	21	21	24	25
	Rechenzeit je Iteration in s	0,63	0,5	0,5	0,4	0,38	0,38	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,58	0,6
	Gesamtrechenzeit in s	2,5	2,5	2,5	2,8	3	3	12	12	12	12	12	14	15

betrachtet, weshalb für die äußere Einwirkung v_k von Bild 5 und (8) $v_k = 0$ gilt. Die Bilder 8 und 9 zeigen die Simulationsergebnisse von ungeregeltem sowie optimal rückgeführtem Prozeß bei unterschiedlichen Stellgrößenbewertungen R_{11}. Die Simulation benötigte mit fortlaufendem Ausdruck einer Simulationstabelle bei emulierter Gleitkommaarithmetik je Tastpunkt im Fall von Prozeßbeispiel 1 etwa 0,7 s und im Fall von Prozeßbeispiel 2 etwa 1,3 s. Mit Gleitkommaprozessor ergaben sich in allen Fällen etwa 0,3 s je Tastpunkt, womit die Simulationszeit praktisch nur noch durch die Ausgabe (Druck bzw. Graphik) bestimmt wird.
Die Ergebnisse zeigen also, daß auch häufige Wiederholungen von Optimalreglerentwurf und Systemsimulation, was zur systematischen Festlegung zweckmäßiger Zustands- und Stellgrößenbewertungen (Q und R) unerläßlich ist, mit einem für die praktische Entwurfsarbeit akzeptablen Zeitaufwand realisierbar sind.

Zusammenfassung

Ergänzt man den Arbeitsplatzcomputer A 7100 durch den Coprozessor für Gleitkommaarithmetik, so entsteht eine interaktionsfreundliche Rechnerkonfiguration, die es gestattet, den Entwurf komplizierter Regelungssysteme zeitökonomisch durchzuführen. Die Verwendung von FORTH als Interaktionsschicht und seine Kopplung mit Objektmoduln aus anderen Quellsprachen tragen zur weiteren Verbesserung von Flexibilität und Reaktionszeitverhalten des Arbeitsplatzes bei. Mit zunehmender Vielfalt im Aufgabenspektrum eines Arbeitsplatzes ist die Entwicklung der Arbeitsplatzsoftware bei Beschränkung auf eine einzige Programmiersprache nicht mehr in ökonomischer Weise möglich. Daher kommt der Verbindung von interaktiven Programmiersystemen, wie FORTH, mit Compilaten aus höheren Programmiersprachen konventioneller Art eine besondere Bedeutung zu.

Literatur

[1] Billerbeck, G.; Rudolph, H.: CAD/CAM-Lösungen von Automatisierungsfunktionen für die Online-Projektierung von 16-bit-Automatisierungssystemen. GZ1-Bericht, ZKI der AdW, 1987.
[2] Rudolph, H.: Softwaretechnologische Aspekte in der Automatisierung. 30. Int. Wiss. Koll. der TH Ilmenau, 1985, Vortragsreihe A, Band 1, S. 279—282.
[3] Fuchs, H.; Rudolph, H.: Rechnergestützter Entwurf von Regelungssystemen. msr, Berlin 27 (1984) 11, S. 487—492.
[4] Kühlborn, P.; Synowzik, M.: Das echtzeitorientierte Betriebssystem BOS 1810. edv-aspekte, Berlin 6 (1987) 1, S. 33—38.
[5] PL/M-86 User's Guide. Intel Corp., Order Number 121636 003.
[6] Hinkel, H.: Prozeduren für die Ein- und Ausgabe in PL/M-86-Programmen. Anwenderdokumentation, ZKI der AdW, 1987.
[7] Rudolph, H.; u. a.: Erarbeitung und Erprobung einer mikrorechnerorientierten Realisierungslösung zur An- und Abfahrregelung der Gasturbinenanlage G24 des Kraftwerkes Vockerode. Forschungsbericht, ZKI der AdW, 1980.
[8] Klinsmann, L.; Klehmet, U.: Echtzeitorientierte Verarbeitungsmoduln für die Implementierung diskreter Regler auf Basis der Prozessoren 8086 und 8087. Unveröffentlichtes Arbeitsmaterial, ZKI der AdW, 1988.
[9] MCS-86 Macro Assembly Language Reference Manual. Intel Corp., Manual Order Number 9 800 640-02.
[10] Haase, D.: Dialogprogrammsysteme IMGRE1 zum Entwurf von Mehrgrößenregelungssystemen. Nachnutzerdokumentation, ZKI der AdW, 1987.
[11] De Grandis-Harrison, R.: FORTH on the BBC Microcomputer. Cambridge/GB: Acornsoft Ltd. 1983.
[12] Zech, R.: Die Programmiersprache FORTH. München: Franzis-Verlag GmbH 1984.
[13] Höhenleitner, Th.: FORTH — eine moderne Softwarephilosophie. Mikroprozessortechnik, Berlin 2 (1988) 2, S. 35—41, S. 44.
[14] Laxen, H.; Perry, M.: Forth 83 Model (Source and Shadow Screens of a Public Domain System). FORTH-Quelltexte und Implementierungshinweise unter CP/M. 1984.
[15] Meisel, U.; Hässler, A.: FORTH-83-Implementierung unter BOS 1810. Unveröffentlichter Arbeitsbericht, VEB Kombinat Carl Zeiss JENA 1988.
[16] Vack, G.-U.: Ein Dialogarbeitsplatz zur Implementierung und Erprobung regelungstechnischer Algorithmen auf Mikrorechnern. Wiss. Berichte der TH Leipzig (1983) 2, S. 46—49.
[17] Billerbeck, G.; Klinsmann, L.: Mikrorechnersoftwarepaket für Entwurf und Generierung selbsteinstellender (self-tuning) Regler für das industrielle Automatisierungssystem audatec. Forschungsbericht FB 902, ZKI der AdW, 1985.
[18] Billerbeck, G.; Klinsmann, L.: Micro-Processor Implementation of a Model Reference Adaptive Controller in View of Wide Industrial Applicability. Syst. Anal. Model. Simul. 4 (1987) 3, S. 259—262.
[19] Rödiger, H.; Müller-Zahn, K.-H.: Auswirkungen des audatec-Einsatzes auf den Betrieb technologischer Anlagen. VEM — Technische Informationen (Automatisierungs- und Elektroenergieanlagen) (Mai 1987) 14, S. 11—15.
[20] Coffron, J. W.: Programmierung des 8086/8088. Düsseldorf: SYBEX-Verlag GmbH 1984.
[21] Gellert, W.; Kästner, H.: Lexikon der Mathematik. Leipzig: VEB Bibliographisches Institut 1979.
[22] Haase, D.: Pol-Nullstellen- und Frequenzgangberechnung linearer Übertragungsfunktionen auf dem Arbeitsplatzcomputer A 7100. Unveröffentlichtes Arbeitsmaterial, ZKI der AdW, 1988.
[23] Nickel, K.: Algorithmus 5. Die Nullstellen eines Polynoms. Computing 2 (1967) S. 284—290.
[24] Kerner, I. O.: Ein Gesamtschrittverfahren zur Berechnung der Nullstellen von Polynomen. Numerische Mathematik 8 (1966) S. 290—294.
[25] Isermann, R.: Digitale Regelsysteme. Band I: Grundlagen, Deterministische Regelungen. Berlin/Heidelberg/New York/London/Paris/Tokyo: Springer-Verlag 1987.
[26] Günther, M.: Zeitdiskrete Steuerungssysteme. Berlin: VEB Verlag Technik 1986.
[27] Hinkel, H.: Prozeduren zur Matrix-Algebra (PL/M-86). Anwenderdokumentation, ZKI der AdW, 1987.
[28] Hinkel, H.: PL/M-86-Programme für Entwurf und Simulation optimaler diskreter Regelungen. Unveröffentlichtes Arbeitsmaterial, ZKI der AdW, 1988.

msr 8924

Zu Ihrer Information! Im VEB Verlag Technik Berlin erscheinen neben der „msr" folgende Fachzeitschriften der Elektrotechnik/Elektronik und angrenzender Gebiete:

Nachrichtentechnik/Elektronik; Elektrie; radio-fernsehen-elektronik; Elektropraktiker und Mikroprozessortechnik.

Bitte nutzen Sie auch diese Informationsquellen!

Eine einfache Strategie zur Schrittweitensteuerung bei der Simulation dynamischer Systeme

0. Einleitung

Die Schrittweitenwahl bei der Simulation dynamischer Systeme wird üblicherweise als kompliziertes Problem angesehen, weil dynamische Systeme ein sogenanntes steifes Zeitverhalten haben können. Steifheit eines dynamischen Systems ist dabei dadurch gegeben, daß im System Teilprozesse mit stark unterschiedlichen Zeitabläufen koexistieren.
In diesem Beitrag werden einige Gedanken entwickelt, die die genannte Situation entschärfen können.
Es wird eine heuristische Regel für die Wahl einer adaptiven Schrittweite formuliert, indem man in jedem Zeittakt diejenige Zustandsgröße mit dem stärksten aktuellen Wachstum sucht und dieser das Recht erteilt, das Zeitmaß im unmittelbar anschließenden Zeitintervall zu bestimmen.

1. Prinzip der Schrittweitensteuerung bei dynamischen Systemen

Das Zustandsgleichungssystem des dynamischen Systems habe die Gestalt

$$dx_i/dt = f_i(x_1, x_2, \ldots, x_n, y), \qquad i = 1, 2, \ldots, n.$$

In y sind alle weiteren eventuellen Einflüsse auf das System zusammengefaßt. Die Notierung soll in der Form

$$dx_i/dt = Tr(i), \qquad i = 1, 2, \ldots, n$$

$Tr(i)$ Triebkraft der i-ten Zustandsgröße

abgekürzt werden.
Folgendes Prinzip wird für die Schrittweitensteuerung vorgeschlagen:
In jedem aktuellen Rechentakt ist der errechnete Zustand $x(t)$ der Bezugszustand. In diesem Zustand wird diejenige Zustandsgröße, die in der sich nun anschließenden Zeit den stärksten Antrieb hat, ermittelt, d. h.,

$$\max_i (Tr(i))$$

ist zu bestimmen. Dieses Maximum werde bei $i = i_0$ angenommen. Dann soll x_{i0} für den nächsten Simulationstakt schrittweitenbestimmend sein.
Um dies zu einer quantitativ nutzbaren Regel werden zu lassen, wird von außen eine Referenzschrittweite D_r vorgegeben, die festgehalten wird.
Die adaptive Schrittweite ergibt sich dann zu

$$D = D_r/Tr(i_0).$$

Mit dieser Schrittweite wird nach einem entsprechenden numerischen Verfahren (hier ist vornehmlich an die Trapezregel zu denken) der nächste Rechentakt ausgeführt. Noch rechengünstiger ist die folgende Benutzung dieser Regel:
Man ordnet die Folge der Zustandsgrößen nach fallenden Werten von $Tr(i)$ im aktuellen Zustand.
Sodann wendet man die Iteration nur auf die Zustandsgrößen einer bestimmten Anzahl m der schnellsten Zustände an, die anderen Zustandsgrößen hält man im alten Bezugszustand solange fest, bis eine Zeit abgelaufen ist, die dem Schrittweitenvorschlag der $(m + 1)$-ten Zustandsgröße gemäß der Folge der $Tr(i)$ entspricht.
Diese Regel wird nur dann durchbrochen, wenn sich zwischenzeitlich ein „Marktführer" aus der Teilgruppe der langsamen Prozesse herauskristallisiert.

Natürlich sind auch bei der Simulation mit adaptiver Schrittweitenwahl immer zwei Dinge zu beachten:

1. Genauigkeit der Modellsimulation
2. Stabilität des numerischen Verfahrens.

Beiden Forderungen wird durch Wahl eines günstigen numerischen Schrittverfahrens, z. B. durch Nutzung der Simulationsmethode mit aktuellen lokalen Modellen, entsprochen [1] und [2].
Auf beide Phänomene nimmt die Wahl der Referenzschrittweite D_r Einfluß. Ist D_r zu groß, so wird man in der Regel hektischen Rollenwechsel beim Marktführer beobachten. Dann sollte man D_r verkleinern (Das ist eine Art dynamischer Konsistenz für die Wahl der Referenzschrittweite D_r).
Aufgrund der Rolle der Referenzschrittweite D_r tritt offensichtlich bei der Simulation folgender Effekt ein:
Der jeweilige Marktführer zeigt gleichmäßigen Zuwachs oder Abnahme seiner Zustandsgröße quantitativ gleich D_r. Es ist daher zweckmäßig, bei der Simulation den jeweiligen Marktführer sichtbar zu machen und die Wechsel in der Marktführerrolle zu markieren.

Literatur

[1] Peschel, M.; Mende, W.; Breitenecker, F.: Anwendung der diskreten Theorie ratengekoppelter Systeme in der Regelungstechnik. msr, Berlin 30 (1987) 7, S. 322—323.
[2] Peschel, M.; Voigt, M.; Mende, W.; Breitenecker, F.: Modellbildungsrahmen von Zeitreihen als Grundlage für die Simulation dynamischer Systeme. msr, Berlin 31 (1988) 3, S. 127—128.

Prof. Dr. rer. nat. habil. M. Peschel, AdW der DDR, Zentrum für Wissenschaftlichen Gerätebau; Dipl.-Math. W. Mende, AdW der DDR, Institut für Geografie und Geoökologie; Doz. Dr. F. Breitenecker, TU Wien, Institut für Technische Mathematik.

msr 8834

Verkaufen sehr gut erhaltenes **Meßcomputersystem PSA 1301-2,** Hersteller VEB Meßelektronik Berlin, Bruttowert 63120,— M, Nettowertabgabepreis 44180,— M.
Ingenieurschule für Papier- und Verpackungstechnik
Darwinstraße 1—2
Altenburg, 7400

4. Fachtagung „Sensoren" in Bad Nauheim/BRD vom 14. bis 16. März 1988

Die Fachtagungen „Sensoren" in Bad Nauheim/BRD finden alle zwei Jahre statt. Veranstalter sind abwechselnd die GMA (Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik) und die NTG (Nachrichtentechnische Gesellschaft) im VDI/VDE.
Insgesamt wurden mehr als 500 Teilnehmer (BRD, Schweiz, Österreich, SFRJ, VRP, DDR) genannt, davon 60% (!) aus der Industrie. Das ist gegenüber der letzten Sensortagung 1986 eine Verdopplung und zeigt das große Interesse, vor allem wohl der Anwender, für das hochaktuelle Gebiet der Sensorik. Mit dem Generalthema „Technologie und Anwendung" hat der Veranstalter offensichtlich diesen Trend berücksichtigt. Auch die Vortragswahl und -gruppierung war glücklich: 8 Übersichtsvorträge, etwa 70 Beiträge, davon 20 als Poster, und nur wenige Parallelsitzungen gestatteten dem Einzelteilnehmer eine nahezu vollständige Information (die Beiträge wurden als VDI-Bericht 677 zu Beginn ausgegeben).
Der Vorsitzende der GMA, Dipl.-Ing. K. GÜNZEL, stellte in seiner Grußadresse fest, daß nach der Euphorie des Anfangs der Sensortechnik vor rund 10 Jahren eine gewisse Konsolidierung eingetreten ist, und zwar dahingehend, daß nicht die Entdekkung neuer Effekte entscheidend ist, sondern Anwendung des vorhandenen Erkenntnisvorrates. Entscheidend für die weitere Anwendung der Sensorik dürfte die optimale Einpassung in die technisch-technologische Umwelt sein, d. h. also die Lösung des Schnittstellenproblems im weitesten Sinne. Dieser Gedanke wurde von K. BETHE (Hannover/BRD) weitergeführt in Richtung einer kontinuierlichen Anwendung ausgereifter Entwicklungen, und das zunehmend für komplexe Zielgrößen und abnehmend für einzelne Parameter. Die Integration von Elektronik und Lichtleitertechnik wird zunehmen und neue Anwendungsbereiche erschließen.
Der erste Übersichtsvortrag „Auf dem Weg zum intelligenten Roboter" (R. SCHRAFT, Stuttgart/BRD) befaßte sich aus der Sicht der metallverarbeitenden Industrie mit der noch nicht genügend gelösten Kopplung von entscheidenden Komponenten für die automatische Montage und andere Einsatzfelder. Weitere Plenarvorträge befaßten sich mit den Grenzen der Miniaturisierung von Sensoren, abgeleitet aus bekannten Modellgesetzen (CHR. ROHRBACH, Deuerling/BRD), mit den Aufbau- und Verbindungstechniken für Sensoren, besonders unter dem Aspekt der Mikroelektronik-Kompatibilität (H. REICHL, Berlin (West)) sowie mit chemischen und biochemischen Sensoren (W. GÖPEL, Tübingen/BRD). Auch der Sensoreinsatz im Auto (A. FELSKE, Wolfsburg/BRD) und in Haushaltsgeräten (R. STRIEK, Berlin (West)) war Gegenstand von Übersichtsvorträgen.
Eine Sitzungsgruppe beschäftigte sich speziell mit Ultraschallsensoren, und zwar für Roboteranwendungen (3×) sowie zu Messung in Fluiden (2×). Dabei fiel die Robustheit der angewandten Systeme durch innige Verflechtung von Sensorelement und Rechnerauswertung auf. Eine weitere Session war dem Test und Abgleich von Sensoren gewidmet. Vorgestellt wurden eine neue Abgleichstrategie für Low-Cost-Sensoren, eine Gegenüberstellung von analogen und digitalen Korrekturkonzepten sowie einige auf der Arrhenius-Gleichung beruhende Testergebnisse des Langzeitverhaltens. Auch hier wurde deutlich, daß die Integration von Sensorelement und Informationsverarbeitung („ganzheitliche Betrachtung") für an sich bekannte Wirkprinzipe sowohl bei der Herstellung wie in der Anwendung signifikante Verbesserung mit sich bringen kann.
Weitere Sitzungsgruppen befaßten sich mit Kraft- und Drucksensoren (hier war bemerkenswert, daß *Philips* Ende 1988 Drucksensoren aus Poly-Silizium auf den Markt bringen wird), mit dynamometrischen Sensoren sowie Sensoren für die Robotik. Ein größerer Komplex war faseroptischen Sensoren gewidmet. Ein einleitender Plenarvortrag (R. KIST, Freiburg/BRD) stellte strekkenneutrale und buskompatible faseroptische Sensorkonzepte vor und diskutierte die unterschiedlichen Modulationsverfahren. Daß auf diesem Gebiet noch sehr viel im Fluß ist, zeigten auch die nachfolgenden Fachvorträge, die ein teilweise extrem hohes technologisches Niveau der Experimentieranordnungen demonstrierten.
In zwei Sessionen zu Chemosensoren wurden mehrfach ISFETs vorgestellt sowie Charakterisierungsmethoden für Chemosensor-Materialien angeboten. Hier beeindruckte u. a. die Vorstellung einer rechnergesteuerten Signalauswertung eines DK-Sensors unter Verwendung eines ASIC (mit CPU, Multiplexer, DAU und Komparatoren). Als Kosten dafür wurden mehrere Hunderttausend DM angegeben; insgesamt dürfte aber damit eine generelle Richtung zukünftiger Entwicklungen markiert sein.
Die Postersitzung stellte in 20 Beiträgen realisierte Sensoren und damit erzielte Ergebnisse vor. Hier waren die Autoren am meisten umlagert, die sich nicht nur auf Grafik und Text beschränkt hatten, sondern neben der vergegenständlichten Präsentation auch die Eigenschaften ihrer „Produkte" kritischen Fragestellern gegenüber zu verteidigen wußten.
Neu für die Sensortagungen Bad Nauheim war eine separate Podiumsdiskussion zur Schnittstellenproblematik. Hier erläuterten sechs prominente und kompetente Diskussionspartner aus Forschung, Industrie und metrologischem Staatsinstitut PTB in Form von Statements ihre Meinungen zur vorgegebenen Thematik „Schnittstelle" (auch diese Statements sind im Tagungsband enthalten). Natürlich war von der Diskussion nicht zu erwarten, daß Festlegungen oder gar Entscheidungen getroffen werden. Deutlich wurde aber, daß in Westeuropa schon wesentliche Vorarbeiten, z. T. in staatlich geförderten Programmen, geleistet worden sind und auch schon Vornormen für 1991 zu erwartende länderübergreifende Festlegungen existieren, und daß für unterschiedliche Einsatzfelder (Fertigungstechnik, Verfahrenstechnik, Automobil) ein einziges durchweg unifiziertes Bussystem unrealistisch wäre.
Zusammenfassend lassen sich folgende Generalisierungen ableiten:

- „völlig neue" Wirkprinzipe für Sensoren sind nicht präsent (und wohl auch nicht in Sicht)
- die Integration von Sensorelement und Signalverarbeitung ist nicht mehr Einzelerscheinung, sondern Entwicklungsrealität, deren industrielle Breitenanwendung bevorsteht
- die Umsetzung von Sensorkonzepten, z. B. auf dem Gebiet der Faseroptik, der Chemo- sowie Biosensoren oder auf anderen Gebieten (Roboter-Sensoren), erfordern hohes technologisches Niveau, *durchgängig* vom Entwurf bis in die Produktion
- Grundlagenforschung für Miniatursensoren (Chemosensoren, Biosensoren, „Mikromechanik") ist zunehmend gebunden an Werkstofforschung sowie an das Vermögen, hochreine Stoffe verarbeiten bzw. extrem dünne Schichten technologisch gut reproduzierbar erzeugen zu können
- bekannte und bewährte Wirkprinzipe behalten ihre Bedeutung; rechnerunterstützte Fertigungs-, Abgleich- und Auswertemethoden tragen zur Langzeitstabilität und zur Einflußgrößenunterdrükkung bei.

msr 8941 W. RICHTER

Mikroelektronik. Leitfaden und Aufgaben. Von A. MÖSCHWITZER, K.-H. DIENER, D. LANDGRAF-DIETZ. Berlin: VEB Verlag Technik 1987. 232 Seiten.
Bestell-Nr.: 553 790 1

Die Erfahrung zeigt, daß der sichere Umgang mit rechnerischen Lösungsverfahren beim Entwurf von Halbleiterbauelementen und integrierten Schaltkreisen nur durch intensives Training erworben werden kann. Dieses Buch leistet dazu einen wertvollen Beitrag.
Die erforderlichen Grundkenntnisse sind aus halbleiterelektronischer und halbleitertechnologischer Sicht in Form eines knappen Leitfadens jedem Abschnitt vorangestellt. Jedem behandelten Schwerpunkt sind zahlreiche didaktisch-methodisch gut ausgearbeitete Übungsaufgaben mit ausführlichen Lösungen zugeordnet. Das Buch ist nach dem Baukastensystem konzipiert. Der Leser kann sich beim Studium auf bestimmte Schwerpunkte beschränken, ohne die vorhergehenden Abschnitte durcharbeiten zu müssen. Vorteilhaft ist, daß für alle etwa 100 Aufgaben ausführliche Lösungen angegeben sind und daß Aufgaben mit hohem Schwierigkeitsgrad besonders gekennzeichnet wurden.

Der Inhalt ist in die Hauptabschnitte:
1. Grundlagen der Halbleitertechnik (48 Seiten, 20 Aufgaben)
2. Halbleiterdioden (30 Seiten, 26 Aufgaben)
3. Bipolartransistoren (38 Seiten, 31 Aufgaben)
4. Feldeffekttransistoren (43 Seiten, 22 Aufgaben)
5. Integrierte Schaltungen (Mikroelektronik) aus halbleitertechnologischer Sicht mit den Schwerpunkten Basistechnologien, Halbleiterbauelemente in integrierten Schaltungen, einfache Bipolar- und MOS-Grundschaltungen, MOS-Speicher, Entwurf und Entwurfsregeln (70 Seiten, 31 Aufgaben)

gegliedert. Das Buch ist in erster Linie für Studenten der Ausbildungsrichtungen elektronische Bauelemente und Mikroelektronik geeignet, jedoch auch für in der Praxis tätige Bauelemente- und Schaltungsentwerfer im Rahmen ihrer Weiterbildung gut nutzbar. Der rechnergestützte Entwurf von Halbleiterbauelementen und -schaltungen wird nicht behandelt. Bei Nachauflagen wäre eine entsprechende Erweiterung zu überlegen.

B 2366 M. SEIFART

Finite Signalfaltungen und -transformationen. Von R. CREUTZBURG. Herausgeber: Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR. 145 Seiten, 16 Bilder.

Das Buch behandelt eine Thematik, zu der der Autor bereits seine Dissertationsschrift verfaßt hat, und legt den Schwerpunkt auf die finite Systemtheorie und ihre Anwendung in digitaler Signal- und Bildverarbeitung. Im einzelnen werden primitive Einheitswurzeln in endlichen kommunikativen Ringen, finite Signale und finite Signalfaltungen und -transformationen behandelt, also ein theoretisches Gerüst, wie es zum Beispiel in der automatischen Bildverarbeitung erfolgreich genutzt wird. Eine zentrale Rolle bei der Definition finiter Transformationen spielt der Begriff der primitiven Einheitswurzeln in endlichen kommunikativen Ringen mit Einselement.
Der Leser benötigt einige mathematische Vorkenntnisse, um die Ableitungen und Beispiele zu verstehen.
Die Broschüre ist als Sonderheft 2/1986 der ZKI-Informationen erschienen und ist über den Autor, der Mitarbeiter des ZKI ist, zu beziehen.

B 2301 H. FUCHS

Regelungssysteme im Zustandsraum I. Struktur und Analyse. Von E. FREUND. München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1987. 274 Seiten, 33 Bilder.

Der Autor legt ein ansprechendes Buch zur Einführung in die Behandlung linearer kontinuierlicher Regelungssysteme im Zustandsraum vor. Der Band I „Struktur und Analyse" ist dabei als Vorbereitung für den Band II „Synthese" konzipiert. Er enthält zahlreiche sehr anschauliche Beispiele und ausführlich vorgerechnete Übungsaufgaben und ist somit in erster Linie für die Ausbildung geeignet. Hier ist, obwohl der Stoff bereits in vielen Büchern abgehandelt worden ist, ein Kompromiß zwischen Exaktheit und Anschaulichkeit gefunden worden, der zum Nachempfinden geradezu einlädt. Der Autor widmet sich dem Aufstellen von Zustandsgleichungen, den regulären Transformationen und der allgemeinen Lösung der Zustandsgleichungen. Die Beziehungen zur Übertragungsfunktion werden wiederholt hergestellt, so daß Parallelen zur Methodik im Frequenz-(Bild-)bereich deutlich werden.
Nach Einführung in die Konzepte von Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit wird den Normalformen für Ein- und Mehrgrößensysteme große Aufmerksamkeit geschenkt, da sie für Analyse und Synthese günstige Aussagen gestatten.

B 2291 M. RADTKE

Progress and Supercomputing in Computational Fluid Dynamics. Proceedings of U.S.-Israel Workshop 1984. Herausgeber: E. M. MURMAN und S. S. ABARBANEL. Boston/Basel/Stuttgart: Birkhäuser Verlag AG. 403 Seiten, zahlreiche Bilder.

Dieses Buch enthält wichtige Beiträge, die sich mit dem Einfluß von Supercomputern auf Computational Fluid Dynamics (CFD) im nächsten Jahrzehnt beschäftigen.
Der erste Teil ist den Supercomputern selbst gewidmet. So werden Architektur, Funktionsprinzipien und Leistungsparameter bedeutender Rechner dargelegt. Speziell handelt es sich um die Anlagen CRAY-1, Cyber 205, Hitachi S810, Fujitsu VP200 und NEC SX2. Des weiteren sind so bekannte Systeme wie CRAY-2, CRAY-3, ETA GF10 und Denelcor HEP-2 in vergleichende Betrachtungen einbezogen.
Ein anderer Abschnitt beschäftigt sich mit einer besonders kleinen Variante von Supercomputern. Für Probleme, die sich mit Hilfe der zeitabhängigen Navier-Stokes-Differentialgleichungen beschreiben lassen, wird ein Hochleistungsrechner als Kombination eines 32-bit-Minicomputers und eines geeigneten Array-Prozessors vorgestellt.
Diese Ausführungen sind weit über die Grenzen des Gebiets der Strömungslehre hinaus von großer Bedeutung und machen das Werk bereits aus diesem Blickwinkel heraus für viele interessant und inhaltsreich.
In 18 einzelnen Beiträgen werden dem Leser dann spezifische CFD-Probleme vorgestellt. Dabei sind die entwickelten und teilweise neuen Algorithmen zumeist im Hinblick auf die rechentechnischen Anforderungen untersucht worden. Als Quintessenz wird eine starke Verknüpfung des Fortschritts auf dem Gebiet der Strömungslehre mit einer effizienten Entwicklung der Computerwissenschaft augenfällig.
Das Buch ist für Physiker und Ingenieure der einschlägigen Fachrichtungen, aber ebenso für Computerspezialisten von hohem Wert.

B 2312 J. ZAREMBA

Praktische Modellierung unter Nutzung unscharfer Mengen. Von einem Autorenkollektiv. Reihe Angewandte Optimierung in der Wirtschaft, Heft 5. Dresden: Zentralstelle des MHF für das Hochschulfernstudium 1987. 79 Seiten.

Das 5. Forschungsheft dieser Reihe schließt eine Lücke in der Literatur zu Problemen der ökonomisch-mathematischen Modellierung und der Entwicklung von Softwareprojekten unter Nutzung mathematischer Methoden. Mit dem thematischen Schwerpunkt „Theorie der unscharfen Mengen und ihre Applikation" werden in Übereinstimmung mit einer intensiven Publikationstätigkeit auf diesem Gebiet in anderen Ländern aktuelle Entwicklungsrichtungen und erreichte Ergebnisse ausgewertet. Dabei werden sowohl international vorgelegte Erkenntnisse als auch umfassende Forschungsergebnisse von

Hochschulen und Universitäten sowie der AdW der DDR berücksichtigt.
Im 1. Kapitel werden das Konzept der mathematischen Modellierung auf der Basis der Theorie unscharfer Mengen sowie die prinzipiellen mathematisch-theoretischen und ökonomischen Anwendungsmöglichkeiten vorgestellt.
Im 2. Kapitel stehen die Schwerpunkte und Vorgehensweisen bei der Applikation von Methoden der unscharfen Modellierung in der industriellen Organisation im Vordergrund. Anhand der komplexen Prozeßanalyse und Algorithmierung für verflochtene Produktionssysteme unter Nutzung unscharfer Mengen wird sowohl das methodische Vorgehen demonstriert als auch mit Anwenderlösungen für die Steuerung von Anlagen und Anlagensystemen und für den Entwurf verfahrenstechnischer Systeme die praktische Nutzbarkeit demonstriert. An dieser Schnittstelle von technisch-technologischen und ökonomischen Prozessen ist hohe Interdisziplinarität gefordert, und es wird der Vorlauf der Anwendung der Erkenntnisse der Theorie unscharfer Mengen gegenüber ökonomischen Untersuchungen deutlich.
Unscharfe Probleme der optimalen Entscheidungsfindung und die Entwicklung von Entscheidungsregeln in Konfliktsituationen unter Unsicherheit sind weitere zentrale Probleme.
Im 3. Kapitel erhält der Leser eine Übersicht über neueste Forschungsergebnisse an wissenschaftlichen Einrichtungen, die zu zugänglichen Ergebnisformen wie Dissertationen geführt haben.
Schließlich werden Hinweise auf die z. Z. auf diesem Gebiet tätigen Forscherkollektive gegeben, womit der Leser eine Orientierung für Konsultationen oder Unterstützung sowohl in den Technik- als auch Wirtschaftswissenschaften erhält.

B 2254 G. PEISSKER

Mathematische Modelle und Methoden in Parallelprozessen. Von V. V. VOEVODIN. Moskau: Nauka 1986. 294 Seiten, 33 Bilder.

Charakteristische Besonderheit neuer Rechnersysteme ist die Möglichkeit, gleichzeitig oder parallel eine große Anzahl von Prozessoren zur Informationsverarbeitung zu nutzen. Das eröffnet einen möglichen Weg zur Erhöhung der Abarbeitungsgeschwindigkeit komplizierter Informationsverarbeitungsaufgaben. Die Erfahrungen bei der Anwendung derartiger Multiprozessorsysteme zeigten jedoch, daß ihre effektive Anwendung eine radikale Veränderung der Struktur numerischer Methoden voraussetzt. Während die sequentiellen numerischen Methoden gegenwärtig ausreichend gut entwickelt sind, befinden sich die Untersuchung paralleler Strukturen numerischer Methoden und paralleler Strukturen von Rechnersystemen noch am Anfang. Bereits gegenwärtig zeigt sich jedoch, daß im Unterschied zu den klassischen sequentiellen Verfahren auf die Entwicklung paralleler numerischer Methoden und die entsprechende Software die individuellen Besonderheiten der Parallelsysteme wesentlichen Einfluß haben; dabei wächst die Anzahl der konkreten Lösungen für derartige Systeme noch an. Daraus folgt eine bislang unlösbare Forderung nach Vereinheitlichung.
In diesem Buch untersucht der Autor verschiedene mathematische Ansätze zur Konstruktion und Entwicklung derartiger Systeme aus allgemeiner Sicht. Um die Spezifik und Besonderheiten verständlich zu machen, beginnt die Darlegung mit einer detaillierten Analyse der Funktionsprozesse beliebiger in Wechselwirkung stehender Rechnersysteme. Dabei erweist sich die Graphentheorie als ein leistungsfähiges Instrumentarium zur Beschreibung der Rechnersysteme und der Algorithmen.
Besondere Aufmerksamkeit wird der Untersuchung der Eigenschaften der Graphen von Algorithmen gewidmet. Aus den Bemühungen um eine systematische Darlegung der numerischen Methoden entstand dabei eine Methodologie zur Untersuchung paralleler numerischer Methoden und paralleler Rechnersysteme. Über 1000 Literaturstellen zeugen von einem umfangreichen Literaturstudium, das dem Spezialisten auf diesem Gebiet weitere Anregung vermitteln dürfte.

B 2336 J.-A. MÜLLER

Temperaturmessung in der Technik. Von L. WEICHERT u. a. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Grafenau: expert verlag und Berlin (West): VDE-Verlag. 290 Seiten, 201 Bilder, 16 Tafeln.

Wenn ein Fachbuch in wenigen Jahren bereits seine 3. Auflage erlebt, so kann das zwei Gründe haben. Entweder handelt es sich um die einzige verfügbare zusammenfassende Darstellung des Themas (zumindest in der betreffenden Sprache) oder das Werk hebt sich durch besondere Vorteile von Büchern ähnlicher Thematik positiv ab. Der erste Grund kann hier nur bedingt geltend gemacht werden, denn es gibt bereits viele Bücher über Temperaturmessung. Das ist auch nicht verwunderlich, handelt es sich doch bei der Temperatur um eine Größe, deren Messung besonders oft notwendig ist, vor allem weil sie als Einflußgröße auch bei der Messung nahezu jeder anderen Meßgröße eine wichtige Rolle spielt. Anders sieht es dagegen (zumindest in der DDR) mit der Verfügbarkeit aus, denn außer dem kleinen „Wissenschaftlichen Taschenbuch" des Akademie-Verlages, das relativ stark physikalisch orientiert ist, wird schon seit einiger Zeit kein Titel zur Temperaturmessung angeboten.
Aber auch der zweite genannte Grund dürfte für den guten Absatz des Buches eine Rolle gespielt haben. Auch wenn der Untertitel „Grundlagen und Praxis" lautet, so wird doch den praktischen Aspekten eindeutig der Vorrang eingeräumt. Insofern unterscheidet sich das Buch für den Anwender von Temperaturmeßmitteln in der industriellen Praxis gegenüber vielen älteren Darstellungen in positivem Sinne. Dazu tragen auch die ausführlichen, einsatzorientierten Fehlerbetrachtungen nicht unwesentlich bei. Hinzu kommt, daß auch die bereits praxiswirksamen neuen Temperaturmeßverfahren neben den auf klassischen Prinzipien beruhenden gleichrangig berücksichtigt sind. Ein grober Überblick über die Umfänge, die den einzelnen Gebieten der Temperaturmeßtechnik eingeräumt werden, kann das belegen: Physikalisch-metrologische Grundlagen 14 Seiten, Ausdehnungsthermometer 13 Seiten, Thermoelemente 51 Seiten, Widerstandsthermometer (Metall und Halbleiter) 38 Seiten, Strahlungsthermometer 37 Seiten, Thermografie 16 Seiten und Rauschthermometrie 18 Seiten. Weitere 70 Seiten sind speziellen applikativen Hinweisen (Einbaufragen, Meßumformer, Zeitverhalten und Gewinnung digitaler Ausgangssignale) gewidmet. Die Kapitel über Thermografie und Rauschthermometrie lassen ebenso wie die Bemerkungen zur Temperaturmessung mit Hilfe von pn-Übergängen erkennen, daß der aktuelle technische Stand auf dem Gebiet der Thermometrie voll berücksichtigt ist. Sicherlich hängt das auch damit zusammen, daß die einzelnen Beiträge von entsprechenden Fachleuten aus der Praxis geschrieben worden sind, die sich unmittelbar mit der jeweiligen Thematik befassen. Natürlich konnte bei der Einbeziehung von zwölf Autoren kein Werk entstehen, das in jeder Beziehung den Eindruck hinterläßt, als sei es völlig „aus einem Guß". Das zeigt schon eine etwas eingehendere Betrachtung der schematischen und grafischen Darstellungen sowie der verwendeten Formelzeichen und der Terminologie, wo immer wieder kleine Unterschiede zu bemerken sind. Soweit auf Vorschriften und konkrete gerätetechnische Lösungen eingegangen wird, beziehen sich diese naturgemäß auf die Verhältnisse in der BRD, was sich für DDR-Leser in einigen Fällen als ungünstig erweist. Die äußere Form (Typografie, bildliche Darstellungen usw.) zeigt das in der Reihe „Kontakt & Studium" übliche gute Niveau. So wird auch die 3. Auflage dieses nützlichen Fachbuches mit hoher Wahrscheinlichkeit wiederum einen weiten Leserkreis finden.

B 2233 H. HART

Kurzfassungen

BRETTHAUER, G.; WILFERT, H.-H.:

Identifikation — Stand und Entwicklungsrichtungen

msr, Berlin 31 (1988) 10, S. 436—439

Im Beitrag werden der Entwicklungsstand auf dem Gebiet der Identifikation technischer und nichttechnischer Systeme eingeschätzt und darauf aufbauend drei wesentliche Entwicklungsrichtungen abgeleitet. Dazu werden verschiedene Entwicklungsetappen der Identifikation betrachtet, die dadurch gekennzeichnet sind, daß grundlegende Unterschiede in den drei Kenngrößen eines jeden Identifikationsproblems vorhanden sind.

TRIPPLER, D.; PUHLMANN, R.; WERNSTEDT, J.:

DIOPRAN-88 — Programmsystem zur experimentellen Prozeßanalyse

msr, Berlin 31 (1988) 10, S. 440—444

DIOPRAN-88 ist ein interaktives Programmpaket zur experimentellen Prozeßanalyse für Analyse- und Entwurfsaufgaben in der System- und Automatisierungstechnik. Es beinhaltet robuste Verfahren der Primärdatenaufbereitung, der Signal- und der Systemmodellbildung. Großer Wert wurde auf die nutzerfreundliche Gestaltung der Bedienerführung gelegt. Das Programmsystem ist auf 16-bit-Rechnern unter dem Betriebssystem MS-DOS lauffähig.

KREBS, V.:

Wissensmodellierung bei Diagnose-Expertensystemen

msr, Berlin 31 (1988) 10, S. 444—446

Die zentrale Aufgabe beim Aufbau von Expertensystemen (XPS) für die Automatisierungstechnik ist der Wissenserwerb, der als eine spezielle Art von Modellbildung interpretiert wird. Am Beispiel von XPS für die Fehlerdiagnose bei elektromechanischen Präzisionsgeräten werden die Methoden zur Wissensmodellierung mit deduktiven bzw. induktiven marktverfügbaren XPS-Schalen dargestellt und die Systeme bezüglich ihrer praktischen Einsatzfähigkeit bewertet.

FRIEDRICH, R.; HOCHHAUS, M.; SCHÜTTE, J.:

Zur Anwendung von klassischen und Fuzzy-Algorithmen für Aufgaben der Produktionskoordinierung in einem Chemiebetrieb

msr, Berlin 31 (1988) 10, S. 454—457

Es wird die Eignung verschiedener Ansätze zur Lösung von Verteilungsproblemen in großen chemisch-technologischen Verbundsystemen untersucht. Bei der Lösung solcher Probleme wird in der Praxis der Entscheidungsträger (Dispatcher, Leiter) durch rechnergestützte Beratersysteme unterstützt. Je nach konkreter Aufgabenstellung erweisen sich unterschiedliche Ansätze als geeignet.

ESTER, J.; SCHIFFER, A.-M.:

Interaktives Entscheidungssystem

msr, Berlin 31 (1988) 10, S. 457—461

Nach Darstellung und Erläuterung der allgemeinen Struktur und der Komponenten interaktiver Entscheidungssysteme wird das System POLYP vorgestellt. Dieses kann als „Entwicklungssystem" charakterisiert werden, da es die gesamte Breite mehrkriterieller Entscheidungen mit Algorithmen und Lösungsmethoden überdeckt.
Anhand von Beispielen wird die Anwendbarkeit von POLYP auch für operative Steuerungen beschrieben.

KOPACEK, P.; TROCH, I.; GÜNTHER, M.:

Steuerungsstrukturen und -algorithmen für Industrieroboter

msr, Berlin 31 (1988) 10, S. 462—467

Ausgehend von einer Darstellung der Entwicklungslinien in der Industrierobotertechnik wird ein Überblick über die Anforderungen an Bewegungssteuerungen für Starrkörpersysteme gegeben. Aspekte der „Bahnkurvenberechnung" und der „Bahnregelung" werden anhand von Arbeitsergebnissen in den Bereichen der Autoren an der Universität Linz, der Technischen Universität Wien und der Technischen Hochschule Ilmenau dargelegt.

RUDOLPH, H.:

CAD/CAM-Arbeitsplatz für Reglerentwurf und -implementierung auf Basis des Arbeitsplatzcomputers A 7100

msr, Berlin 31 (1988) 10, S. 468—473

Nach Hinweis auf die Notwendigkeit einer besseren Beherrschung vorbildfreier Automatisierungsaufgaben in der Praxis und auf die Bedeutung der modernen Regelungstheorie in Verbindung mit der 16-bit-Mikrorechentechnik in dieser Frage wird auf die Gestaltung eines Arbeitsplatzes für Entwurf und Implementierung anspruchsvoller Regelungen mittels AC A 7100 eingegangen. Regelungs- und softwaretechnische Anforderungen sowie das Softwarekonzept werden erörtert und das Reaktionszeitverhalten des Arbeitsplatzes anhand numerikintensiver Entwurfsteilaufgaben veranschaulicht.

Резюме

BRETTHAUER, G.; WILFERT, H.-H.:

Идентификация — состояние и направления развития

msr, Berlin 31 (1988) 10, стр. 436—439

В статье оценено состояние развития в области идентификации технических и нетехнических систем; на основе этого выведены три основных направления развития. По этому вопросу рассмотрены различные этапы развития идентификации, характерные тем, что имеются основные различия в трех показателях каждой проблемы идентификации.

TRIPPLER, D.; PUHLMANN, R.; WERNSTEDT, J.:

ДИОПРАН-88 — Программная система экспериментального анализа процессов

msr, Berlin 31 (1988) 10, стр. 440—444

ДИОПРАН-88 является интерактивным программным пакетом экспериментального анализа процессов для задач анализа и проектирования в области системной техники и техники автоматизации. Он содержит сильные методы обработки первичных данных, моделирования сигналов и систем. Большое значение было придано приемлемому для пользователя оформлению управления оператором. Программная система работает на 16-разрядной вычислительной машине с операционной системой МС-ДОС.

KREBS, V.:

Моделирование знания при диагнозных экспертных системах

msr, Berlin 31 (1988) 10, стр. 444—446

Центральной задачей при построении экспертных систем для техники автоматизации является получение знаний, которое интерпретируется как специальный вид моделирования. На примере экспертных систем для диагноза ошибок при электромеханических прецизионных приборах изображены методики моделирования знаний с помощью дедуктивных или индуктивных экспертных систем, имеющихся на рынке, и оценены системы относительно их практической применимости.

FRIEDRICH, R.; HOCHHAUS, M.; SCHÜTTE, J.:

О применении классических алгоритмов и алгоритмов Фуцци для задач координирования производства на химическом предприятии

msr, Berlin 31 (1988) 10, стр. 454—457

Исследована пригодность различных подходов для решения проблем распределения в крупных химически-технологических соединенных системах. При решении таких проблем на практике носитель решения (диспетчер, руководитель) поддерживается системами советников с помощью вычислительной машины. В зависимости конкретной постановки задач различные подходы оказываются пригодными.

ESTER, J.; SCHIFFER, A.-M.:

Интерактивная система решения

msr, Berlin 31 (1988) 10, стр. 457—461

После изображения и пояснения общей структуры составляющих интерактивных систем решения представлена система ПОЛЫП. Она может быть характеризована как „система разработки", т. к. она перекрывает всюширину решений со многими критериями с алгоритмами и методами решений. На основе примеров описана применимость ПОЛЫПа также и для оперативных управлений.

KOPACEK, P.; TROCH, I.; GÜNTHER, M.:

Структуры и алгоритмы управления для промышленных роботов

msr, Berlin 31 (1988) 10, стр. 462—467

Исходя из изображения линий развития в области техники промышленных роботов дан обзор о требованиях к управлениям движения для систем с заблокированными телами. Аспекты „расчета кривых пути" и „регулирования кривой" изложены на примере рабочих результатов авторами университета г. Линц, технического университета г. Виена и технического вуза г. Ильменау.

RUDOLPH, H.:

Рабочее место САПР для проектирования регуляторов и имплементации регуляторов на основе компютера для рабочего места А 7100

msr, Berlin 31 (1988) 10, стр. 468—473

После указания на необходимость лучшего владения задачами автоматизации без примеров на практике, а также на значение современной теории регулирования в связи с 16-разрядной микровычислительной техникой по этому вопросу рассматривается оформление рабочего места для проектирования и имплементации требовательных регулирований при помощи компютера 7100. Обсуждены требования к регулированию и матобеспечению, а также концепт матобеспечения и пояснено поведение времени реакции рабочего места на основе частичных задач проектирования с интенсивной нумерикой.

Summaries

BRETTHAUER, G.; WILFERT, H.-H.:

Systems Identification — State of the Art and Trends

msr, Berlin 31 (1988) 10, pp. 436—439

The authors estimate the state of the art in the field of technical and non-technical systems identification and from this derive three essential directions of development. They consider different development stages of the identification which are characterized by the fact that fundamental differences exist as to the three characteristics of each identification problem.

TRIPPLER, D.; PUHLMANN, R.; WERNSTEDT, J.:

DIOPRAN-88 — A Program System for Experimental Process Analysis

msr, Berlin 31 (1988) 10, pp. 440—444

DIOPRAN-88 is an interactive program package for the experimental process analysis within the scope of analysis and design problems of system and automation engineering. It contains robust methods for primary data processing as well as signal and system modelling. A user-friendly design of the user guiding has been particularly taken into consideration. The program system runs on 16-bit-computers under the operating system MS-DOS.

KREBS, V.:

Knowledge Modelling with Diagnosis Expert Systems

msr, Berlin 31 (1988) 10, pp. 444—446

The main problem in the design of expert system (XPS) for automation is the knowledge acquisition which is considered a special type of modelling. By means of the example of XPS for error diagnosis with electromechanical precision devices the author represents the methods for knowledge modelling with deductive and inductive XPS shells available in the market and estimates the systems as to their aptness for practical use.

FRIEDRICH, R.; HOCHHAUS, M.; SCHÜTTE, J.:

Application of Classical and Fuzzy Algorithms for Problems of Production Coordination in a Chemical Factory

msr, Berlin 31 (1988) 10, pp. 454—457

The authors study the aptness of different statements for solving the distribution problem in large chemical process compound systems. In the solution of such problems in practice the personnel responsible for the decisions (dispatchers, chiefs) is supported by computer aided advisory systems. Different statements prove to be suited in dependence upon the individual problem.

ESTER, J.; SCHIFFER, A.-M.:

Interactive Decision System

msr, Berlin 31 (1988) 10, pp. 457—461

After having represented and explained the general structure and the components of interactive decision systems the authors present the system POLYP. It can be characterized as "development system" since it covers the whole range of multi-criterion decisions by its algorithms and methods of solution. By means of examples the authors describe the applicability of POLYP for operative controls, too.

KOPACEK, P.; TROCH, I.; GÜNTHER, M.:

Control Structures and Algorithms for Industrial Robots

msr, Berlin 31 (1988) 10, pp. 462—467

Starting from the representation of the trends of development in industrial robotics the authors give an overview of the requirements to be met by the movement controls for rigid body systems. Aspects of trajectory computation and trajectory feedback control are dealt with by means of the author's results of study at the Linz University, Vienna Technical University and Ilmenau College of Technology.

RUDOLPH, H.:

CAD/CAM Working Station for Controller Design and Implementation on the Basis of the Working Station Computer A 7100

msr, Berlin 31 (1988) 10, pp. 468—473

After having emphasized the necessity of a better overcoming of new automation problems in practice as well as the importance of modern control theory and 16-bits microcomputers in this question, the author treats the development of a working station for the design and implementation of complicated feedback controls on the basis of the computer AC A 7100. Requirements from control engineering and software technology as well as the software concept are treated and the reaction time behaviour of the working station is demonstrated by design partial problems numerically extensive.

Résumés

BRETTHAUER, G.; WILFERT, H.-H.:

Identification des systèmes — l'état présent et les tendances

msr, Berlin 31 (1988) 10, pp. 436—439

Les auteurs estiment l'état présent dans le champ de l'identification des systèmes techniques et non-techniques et en dérivent trois directions de développement essentielles. Ils considèrent les différentes étapes de développement de l'identification qui sont caractérisées par le fait que des différences fondamentales existent quant aux trois caractéristiques de chaque problème d'identification.

TRIPPLER, D.; PUHLMANN, R.; WERNSTEDT, J.:

DIOPRAN-88 — Un système de programmes pour l'analyse expérimentale des processus

msr, Berlin 31 (1988) 10, pp. 440—444

DIOPRAN-88 est un paquet de programmes interactifs pour l'analyse expérimentale des processus en cadre des problèmes d'analyse et de projet de la technique des systèmes et de l'automatisation. Il contient des méthodes robustes pour le traitement primaire des données ainsi que pour la modélisation des signaux et des systèmes. On a particulièrement tenu compte d'un bon guidage de l'usager. Le système de programmes travaille sur des ordinateurs à 16 bits sous le système d'exploitation MS-DOS.

KREBS, V.:

Modélisation des connaissances pour les systèmes experts de diagnose

msr, Berlin 31 (1988) 10, pp. 444—446

Le problème principal dans le projet de systèmes experts (XPS) pour l'automatisation est l'acquisition des connaissances qui est considérée comme une modélisation spéciale. A l'aide des XPS pour la diagnose d'erreurs pour des dispositifs de précision électromagnétiques, l'auteur présente les méthodes pour la modélisation des connaissances par des enveloppes déductives et inductives disponibles au marché et estime les systèmes quant à leur aptitude pour l'emploi pratique.

FRIEDRICH, R.; HOCHHAUS, M.; SCHÜTTE, J.:

Emploi des algorithmes classiques et flous pour les problèmes de la coordination de production dans une usine chimique

msr, Berlin 31 (1988) 10, pp. 454—457

Les auteurs étudient l'aptitude de différentes propositions pour la solution des problèmes de distribution dans des grands systèmes compound chimico-technologiques. En résolvant de tels problèmes dans la pratique, le personnel responsable pour la décision (dispatchers, chefs) est supporté par des systèmes consultatifs assistés par ordinateur. De différentes propositions se montrent aptes en dépendance du problème individuel.

ESTER, J.; SCHIFFER, A.-M.:

Système de décision interactif

msr, Berlin 31 (1988) 10, pp. 457—461

Après ayant représenté et expliqué la structure générale et les composants des systèmes de décision interactifs, les auteurs présentent le système POLYP. Celui-ci peut être caractérisé comme "système de développement" parce qu'il couvre toute la gamme des décisions à critères multiples par ses algorithmes et méthodes de solution. A l'aide d'exemples, les auteurs décrivent l'applicabilité de POLYP aussi pour les commandes opératives.

KOPACEK, P.; TROCH, I.; GÜNTHER, M.:

Structures et algorithmes de commande pour les robots industriels

msr, Berlin 31 (1988) 10, pp. 462—467

A partir d'une représentation des tendances de développement dans la robotique industrielle, les auteurs donnent un aperçu sur les exigences à remplir par les commandes de mouvement pour les systèmes à corps rigide. Les aspects du calcul et du réglage des trajectoires sont traités à l'aide de résultats d'étude des auteurs à l'université de Linz, l'université technique de Vienne et l'école supérieure technique d'Ilmenau.

RUDOLPH, H.:

Poste de travail CFAO pour la conception et l'implémentation de régulateurs sur la base de l'ordinateur de poste de travail A 7100

msr, Berlin 31 (1988) 10, pp. 468—473

Après ayant souligné la nécessité d'une meilleure maîtrise de nouveaux problèmes d'automatisation dans la pratique ainsi que l'importance de la théorie moderne des asservissements et des micro-ordinateurs à 16 bits en cette question, l'auteur traite le développement d'un poste de travail pour la conception et l'implémentation des asservissements compliquès sur la base de l'ordinateur AC A 7100. Les exigences quant aux réglage et logiciel ainsi que le concept de logiciel sont traités et le comportement de réaction temporel du poste de travail est démontré à l'aide de problèmes partiels de conception numériquement volumineux.

Neue Bücher aus der UdSSR

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst „Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] Brošinkin, V.: Logika, myšlenie, informacija (Logik, Denken, Information). Izd-vo Leningr. un-ta. 1. Quart. 1989. NK 88-6 (3).

[2] Avtomatizacija regional'nych technologij (Automatisierung regionaler Technologien). Nauka. 3. Quart. 1989. NK 88-6 (199).

[3] Raspoznavanie, klassifikacija, prognoz. Mat. metody i ich primenenie (Erkennung, Klassifikation, Vorhersage. Math. Methoden und ihre Anwendung). Nauka. 4. Quart. 1989. NK 88-6 (200).

[4] Algoritmy i programmy rešenija zadač na grafach i setjach (Algorithmen und Programme zur Lösung von Aufgaben auf Graphen und Netzen). Nauka. 3. Quart. 1989. NK 88-6 (201).

[5] Informatika v rabočich professijach (Informatik in Arbeitsberufen). Nauka. 1. Quart. 1989. NK 88-6 (202).

[6] Komp'juter i avtomatizacija inženernoj dejatel'nosti (Computer und Automatisierung der Ingenieurtätigkeit). Nauka. 4. Quart. 1989. NK 88-6 (203).

[7] Komp'juter i zadači vybora (Computer und Auswahlaufgaben). Nauka. 2. Quart. 1989. NK 88-6 (204).

[8] Pavlov, B.; Solov'ev, I.: Sistemy prjamogo adaptivnogo upravlenija (Systeme der direkten adaptiven Steuerung). Nauka. 4. Quart. 1989. NK 88-6 (205).

[9] Personal'nyj komp'juter: rabočee mesto professionala (Personalcomputer: Arbeitsplätze). Nauka. 1. Quart. 1989. NK 88-6 (206).

[10] Ajlamazjan, A.; Stas', E.: Informatika i teorija razvitija (Informatik und Entwicklungstheorie). Nauka. 4. Quart. 1989. NK 88-6 (209).

[11] Bljumenau, D.: Informacija i informacionnyj servis (Information und Informationsservice). Nauka. 3. Quart. 1989. NK 88-6 (210).

[12] Sistemy informatiki (Systeme der Informatik). Nauka. 4. Quart. 1989. NK 88-6 (337).

[13] Dinamičeskie sistemy. Vyp. 8 (Dynamische Systeme. Ausg. 8). Izd-vo Kiew. un-ta (USSR). 2. Quart. 1989. NK 88-6 (360).

[14] Issledovanie operacij i ASU. Vyp. 33 (Operationsforschung und ASU. Ausg. 33). Izd-vo Kiew. un-ta (USSR). 1. Quart. 1989. NK 88-6 (363).

[15] Čerepanov, V.: Ekspertnye ocenki v pedagogičeskich issledovanijach (Expertenschätzung in pädagogischen Untersuchungen). Pedagogika. 1. Quart. 1989. NK 88-6 (391).

[16] Optimizacija sistemnych rešenij v raspredelennych bazach dannych (Optimierung von Systementscheidungen mit verteilten Datenbanken). Nauka. IV. Quart. 1989. NK 88-8 (42)

[17] Problemy informacionnoj technologii i integral'noj avtomatizacii proizvodstva (Probleme der Informationstechnologie und integrierten Automatisierung der Produktion). Nauka. 4. Quart. 1989. NK 88-8 (55).

[18] Leskin, A.; Mal'cev, P., Spiridonov, A.: Seti Petri v modelirovanii i upravlenii (Petri-Netze in Modellierung und Steuerung). Nauka. 4. Quart. 1989. NK 88-8 (56).

[19] Elepov, B.; Čistjakov, V.: Upravlenie processami ispol'zovanija informacionnych resursov (Steuerung von Prozessen der Nutzung von Informationsressourcen). Nauka. 4. Quart. 1989. NK 88-8 (57).

[20] Issledovanie operacij i ASU (Operationsforschung und ASU. Ausg. 34). Izd-vo Kiev. un-ta (USSR). 3. Quart. 1989. NK 88-8 (144).

[21] Poliščuk, L.: Analiz mnogokriterial'nych ekonomiko-matematičeskich modelej (Analyse mehrkrterialer mathematisch-ökonomischer Modelle . Nauka. 4. Quart. 1988. NK 88-10 (61).

[22] Avtomatizacija proektirovanija i programmirovanija robotov i gibkich proizvodstvennych sistem (Automatisierung der Projektierung und Programmierung von Robotern und flexibler Produktionssysteme). Nauka. 4. Quart. 1988. NK 88-10 (99).

[23] Instrumental'nye sistemy i modelirovanie (Instrumentelle Systeme und Modellierung). Nauka. 4. Quart. 1988. NK 88-10 (100).

[24] Matematičeskoe modelirovanie. Sovremennye problemy matematičeskoj fiziki i vyčislitel'noj matematiki (Mathematische Modellierung. Moderne Probleme der mathematischen Physik und numerischen Mathematik). Nauka. 4. Quart. 1988. NK 88-10 (101).

[25] Raspoznavanie, klassifikacija, prognoz. Vyp. 1 (Erkennung, Klassifikation, Vorhersage. Ausg. 1). Nauka. 4. Quart. 1988. NK 88-10 (102).

[26] Informatika i komp'juternaja gramotnost' (Informatik und Computerlehrsysteme). Nauka. 4. Quart. 1988. NK 88-10 (103).

[27] Emel'janov, I.: Vvedenie v biologičeskuju matematiku (Einführung in die biologische Mathematik). Nauka. 4. Quart. 1988. NK 88-10 (105).

[28] Matematičeskoe modelirovanie složnych biologičeskich sistem (Mathematische Modellierung komplizierter biologischer Systeme). Nauka. 4. Quart. 1988. NK 88-10 (184).

[29] Dabagjan, A.; Kononenko, I.: Modelirovanie processov razvitija i rekonstrukcii gibkich proizvodstvennych sistem (Modellierung von Entwicklungsprozessen und der Rekonstruktion flexibler Produktionssysteme). Izd-vo Char'k. un-ta (USSR). 3. Quart. 1988. NK 88-10 (202).

[30] Kornilova, T.; Tichomirov, O.: Prinjatie intellektual'nych rešenij v dialoge s komp'juterom (Intellektuelle Entscheidungsfindung im Computerdialog). Izd-vo Mosk. un-ta 4. Quart. 1989. NK 88-11 (165).

[31] Avtomatizacija proizvodstvennych processov v mašinostroenii (Automatisierung der Produktionsprozesse im Maschinenbau. Ausg. 28). Izd-vo L'vov. un-ta. 3. Quart. 1989. NK 88-11 (197).

[32] Avtomatizirovannye sistemy upravlenija i pribory avtomatiki (Automatisierte Steuerungssysteme und Geräte der Automatik). Ausg. 89. Izd-vo Char'k. un-ta 3. Quart. 1989. NK 88-11 (198); Ausg. 90 Izd-vo Char'k. un-ta 2. Quart. 1989. NK 88-11 (199); Ausg. 91. Izd-vo Char'k. un-ta. 1. Quart. 1989. NK 88-11 (200); Ausg. 92. Izd-vo Char'k. un-ta. 3. Quart. 1989. NK 88-11 (201).

[33] Bachovec, B.; Tkačuk, Ja.: Osnovy avtomatiki i avtomatizacii proizvodstvennych processov v gidromelioracii (Grundlagen der Automatik und Automatisierung der Produktionsprozesse in der Hydromelioration). Izd-vo L'vov. un-ta. 3. Quart. 1989. NK 88-1 (435). msr 8910

Impressum

messen · steuern · regeln

Herausgeber: Kammer der Technik, Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)

Verlag: VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin, DDR-1020, Telegrammadresse: Technikverlag Berlin; Telefon 2 87 00; Telex: 011 222 8 techn dd

Verlagsdirektor: Dipl.-Ing. Klaus Hieronimus

Redaktion: Dr.-Ing. Dietrich Werner, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2 87 03 62)
Dr.-Ing. Jürgen Wede, Redakteur (Telefon: 2 87 03 74)

Gestaltung: Karen Wohlgemuth (Telefon: 2 87 02 88)

Lizenz-Nr.: 1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik

AN (EDV): 15 936

Erscheinungsweise: monatlich 1 Heft

Heftpreis: 4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebs BUCHEXPORT zu entnehmen.

Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer", Bad Langensalza, 5820

Anzeigenannahme: Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin, 1020. Anzeigenpreisliste Nr. 7; Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR-1157

Rechtsvorbehalt: Nachdrucke, Übersetzungen sowie Vervielfältigung jeglicher Art von vollständigen oder auszugsweisen Text- oder Bildbeiträgen bedürfen der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Verlages. Referate, Besprechungen und genehmigte Vervielfältigungen sind nur mit genauer Quellenangabe zulässig. Erfüllungsort ist der Sitz des Verlages in Berlin-Mitte.

Bezugsmöglichkeiten:

DDR: sämtliche Postämter

SVR Albanien: Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Bruga Konference e Pezes, Tirana

VR Bulgarien: Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia

VR China: China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing

ČSSR: PNS — Ústřední Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezska 11, 12000 Praha 2; PNS, Ústredná Expedicia a Dovoz Tlaće, Posta 002 885 47 Bratislava

SFR Jugolawien: Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarako Produzeče MLADOST, Ilica 30, Zagreb

Koreanische DVR: CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang

Republik Kuba: Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana

VR Polen: C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa

SR Rumänien: D.E.P. Bukureşti, Piaţa Scinteii, Bukureşti

Ungarische VR: P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest

UdSSR: Städtische Abteilungen von Sojuzpečat oder Postämter und Postkontore

SR Vietnam: XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi

BRD und Berlin (West): ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30

Österreich: Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge

Schweiz: Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstraße 109, 8033 Zürich

Alle anderen Länder: örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Postfach 160, Leipzig, DDR-7010 und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR-7010.

Abnahmebedingungen:

Die Redaktion veröffentlicht nur Originalbeiträge. Für Nachdrucke, Übersetzungen oder Vervielfältigungen jeglicher Art gilt der Rechtsvorbehalt. Die Redaktion behält sich Änderungsvorschläge bei der Beitragsbearbeitung vor. Die Beiträge müssen generell mit einer Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes oder der Institution der Autoren versehen sein.

Bei der Anfertigung von Beiträgen sind unbedingt die Manuskripthinweise zu beachten. Diese sind dem Heft 5/1988, S. 237, zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung der Manuskripthinweise bildet die Voraussetzung für eine zügige und sachgerechte Beitragsbearbeitung.

Prozeßanalysengeräte in der Verfahrenstechnik

Am 26. Oktober 1988, in der Zeit von 10^{00} bis 16^{00} Uhr, veranstaltet die KDT-Betriebssektion des VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" im Klubhaus der Werktätigen Leuna, Martha-Brantzsch-Saal, zum o. g. Thema ihre 19. Arbeitstagung.
Schwerpunkte der Tagung sind:

- Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet der Prozeßanalysenmeßtechnik unter besonderer Beachtung der Schlüsseltechnologien
- Vorstellung von Geräteneuentwicklungen der gerätebauenden Industrie und Eigenentwicklungen der chemischen Industrie
- Einsatzfälle von Prozeßanalysatoren in Chemieanlagen.

Auskünfte zur Fachtagung erteilt:
VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht"
Betriebssektion der KDT
Leuna
4200
Tel.: Merseburg 43-47 96

Technische Hochschule Zittau

Mit Wirkung von 27. Mai 1988 erhielt die Ingenieurschule Zittau den Status einer Technischen Hochschule.
Bitte beachten Sie, daß bei Ihrer Teilnahmemeldung zur IX. Wissenschaftlichen Konferenz für Energiewirtschaft (siehe msr Heft 6/1988, 3. US) die Bezeichnung Ingenieurschule Zittau durch
Technische Hochschule Zittau
zu ersetzen ist.

Wissenschaftliche Tage 1989

Vom 30. August bis 13. September finden die Wissenschaftlichen Tage 1989 der Technischen Universität „Otto von Guericke" in Magdeburg statt.
Im Rahmen dieser Tage veranstaltet die Sektion Automatisierungstechnik und Elektrotechnik, Wissenschaftsbereiche Regelungstechnik und Prozeßsteuerungen sowie Prozeßmeßtechnik ihre 5. Fachtagung „Anwendung von Mikrorechnern in der Meß- und Automatisierungstechnik". Die Tagung behandelt Fortschritte bei der Meßwerterfassung und automatischen Prozeßsteuerung, die sich durch Mikrorechner ergeben. Folgende Schwerpunkte stehen auf dem Programm:

- Meßwerterfassungsstrukturen für die Prozeßmeßtechnik
- intelligente Funktionseinheiten zur Aggregatautomatisierung
- ASICs für die Automatisierungstechnik
- prozeßnahe Interface-Elektronik
- Mikrorechnergerätetechnik zur Meßwerterfassung, -übertragung und -vorverarbeitung einschließlich schaltungstechnischer Probleme
- Fragen der Analogeingabe und Meßwertvorverarbeitung
- Sensoranwendungen; Bildverarbeitung in der Meßtechnik
- Entwicklung und Anwendung moderner Algorithmen der automatischen Steuerung und ihre Umsetzung in Mikrorechner-Automatisierungslösungen in Echtzeit
- Geräte- und Anlagentechnik, Dimensionierung und Projektierung
- Kommunikationssysteme in der Automatisierungstechnik
- ausgewählte Anwendungsfälle der Regelungstechnik und Prozeßsteuerung aus den Bereichen Maschinen- und Anlagenbau sowie Verfahrenstechnik
- Automatisierung von diskreten Prozessen im Maschinenbau.

Es sollen Möglichkeiten, Methoden und derzeitige Grenzen der Meß- und Automatisierungstechnik mit Mikrorechnern dargelegt und daraus für neue Anwendungsfälle, Forschung und Lehre Konsequenzen gezogen werden.
Vorträge (Dauer 15 min.) können noch bis zum 15. November 1988 angemeldet werden

Konferenzsprachen: Deutsch, Englisch
Teilnehmergebühr: 100,— M

Weitere Veranstaltungen innerhalb der Wissenschaftlichen Tage 1989 sind:

- 12. Projektierungskolloquium der Betriebs- und Arbeitsgestaltung „Auf dem Weg zur automatisierten rechnerintegrierten Produktion"
  30. und 31. August 1989
- III. Wissenschaftliche Konferenz Philosophie und Technik
  „Technik und dialektisches Denken"
  7. und 8. September 1989
- 17. Tribotechnisches Kolloquium
  „Wälzlagertechnik 1989"
  12. und 13. September 1989.

Teilnahmevoranmeldungen und Vortragsanmeldungen sind bis zum 15. November zu richten an:
Technische Universität
„Otto von Guericke" Magdeburg
Tagungsbüro
Postschließfach 124
Magdeburg
DDR-3010

Aufsetzmontage in der Leiterplattentechnik unter Berücksichtigung der Nacktchipverarbeitung

Die bereits im Heft 4/1988 (3. Umschlagseite) angekündigte o. g. Fachtagung mit internationaler Beteiligung aus den RGW-Ländern findet vom 27. bis 28. September 1989 in Berlin statt (vorher IV. Quartal 1988). Vortragsanmeldungen sind bis zum 7. Februar 1989 an folgende Anschrift zu richten:

Kammer der Technik
— Präsidium —
Fachverband Elektrotechnik
Postfach 1315
Berlin, DDR-1086
Tel.: 2265285.

INCOM '89

Vom 29. September bis zum 1. Oktober 1989 findet in Madrid das 6. INCOM-Symposium (Symposium on *In*formation *Co*ntrol Problems in *M*anufacturing Technology) statt. Das Symposium wird von der IFAC (unter Mitwirkung von IFIP, IFORS und IMACS) veranstaltet. Für die Organisation zeichnen das „Departamento de Automática, Ingeniería Electrónica e Informática Industrial (DISAM)" und die Universidad Politécnica de Madrid verantwortlich.
Es ist das Ziel dieses Symposiums, der Hauptveranstaltung des Technical Committee on Manufacturing (MANTECH) der IFAC, sowohl neue Theorien als auch fortgeschrittene Anwendungen von automatischen Systemen in der computerintegrierten Fertigung (CIM) vorzustellen, zu diskutieren und zusammenzufassen.
Schwerpunkte der Tagung sind:

- Allgemeine Aspekte von CIM:
  Entwicklungsstand und Trends/Bewertung von FMS/CIM/soziale und ökonomische Folgerungen/Entwurfsmethoden
- Systemmanagement und -planung:
  Automatische Produktionsplanung/Management- und Planungswerkzeuge/On-line-Planung
- Simulation von Fertigungsprozessen:
  Simulationswerkzeuge/Fertigungsmodellierung/Simulationssprachen
- Steuerungsprobleme:
  Steuerstrategien/Mensch-Maschine-Interface/Verteilte Systeme/Qualitätssicherung
- Fertigungsnetze:
- Anwendungsschicht in Standardnetzen/Zuverlässigkeit/Low-cost-Netze
- KI und Expertensysteme in der Fertigung:
  Wissensbasierte Modellierung/Simulation/KI-Werkzeuge für die Fertigung/Expertensysteme für CIM
- Informationssysteme für die Fertigung:
  Datenbasisunterstützung für den Systementwurf/Informationsmanagementwerkzeuge/Ingenieurtechnische Datenbasen/CAD/CAM-Systemintegration
- Sensorbasierte Roboter in der Fertigung:
  Neue Sensoren in der Fertigung/Sensorverschmelzung/Sprachen für sensorbasierte Roboter/Modellierung/Mobile Roboter
- Fortgeschrittene Anwendungen und Fallstudien.

ISSN 0026-0347, mess., steuern, regeln
Berlin 31 (1988) 10, S. 433—480

15950 16 159 549 964
APW
4073 7001 1400 SMAT 11/10

Neuerscheinungen

Steuerungen in der Automatisierungstechnik

Herausgegeben vom Institut für Fachschulwesen der DDR. Gesamtredaktion und Federführung: Dr.-Ing. Günther Graichen und Dr.-Ing. Heinz Kolb
312 Seiten, 220 Bilder, 25 Tafeln, Leinen, DDR 23,— M, Ausland 28,— DM.
Bestellangaben: 5537573/Steuerungen
Die zunehmende Automatisierung von Fertigungsprozessen im Maschinenbau erfordert eine mit dieser Entwicklung schritthaltende Ingenieurausbildung. Das Fachschullehrbuch „Steuerungen in der Automatisierungstechnik" ist entsprechend dem Lehrprogramm „Automatisierungstechnik" der Grundstudienrichtung Maschineningenieurwesen aufgebaut. Es ist praxisorientiert geschrieben und bevorzugt auf die Nutzer von Automatisierungseinrichtungen zugeschnitten.
Nach einführenden Bemerkungen werden im 1. Abschnitt die wichtigsten Grundbegriffe der Automatisierungstechnik erläutert. Der 2. und 3. Abschnitt behandeln die Beschreibungsmethoden der linearen Glieder und die Grundlagen der Digitaltechnik. Im 4. Abschnitt werden Mittel, Methoden, Verfahren und Beispiele der Prozeßanalyse vorgestellt. Die für eine erfolgreiche Zusammenarbeit mit dem Spezialisten nötigen Sachverhalte über offene und geschlossene Steuerungen in der Automatisierungstechnik werden in den Abschnitten 5. und 6. behandelt. Abschnitt 7. ist eine kompakte Darstellung des Aufbaus, der Wirkungsweise und der Programmierung von Mikrorechnern, und Abschnitt 8. stellt die Grundlagen digital wirkender geschlossener Steuerungen vor. Der abschließende Abschnitt 9. ist eine außerordentlich anschauliche Ausführung über speicherprogrammierbare und numerische Steuerungen sowie über Industrieroboter.
Durch seine Anwendungsbezogenheit ist dieses Werk nicht nur als Lehrbuch für die Ausbildung in allen Studienformen (Direkt- und Fernstudium), sondern auch für die Weiterbildung von Ingenieuren in der Praxis geeignet.

Fertigung integrierter Schaltungen

Von Prof. Dr. sc. techn. Klaus Schade, Prof. Dr. rer. nat. Roland Köhler und Prof. Dr. sc. techn. Dietrich Theß
Etwa 200 Seiten, 116 Bilder, 53 Tafeln, Broschur, DDR etwa 20,— M, Ausland etwa 28,— DM. Bestellangaben: 5539106/Schade, Schaltungen
Das Fachbuch behandelt den Fertigungsprozeß mikroelektronischer Schaltungen für einen Leserkreis, der über keine Vorkenntnisse auf diesem Gebiet verfügt. Dabei geht es vor allem um die Erläuterung wichtiger Begriffe und Verfahren sowie um eine praxisbezogene Darstellung der Prozeßschrittfolgen zur Herstellung mikroelektronischer Bauelemente. Wesentliche Zusammenhänge zwischen Material, Verfahren, Fertigungsprozeß und Bauelementeeigenschaften werden herausgearbeitet. Auch auf Probleme wie Ausbeute, Prozeßorganisation und -steuerung sowie Fertigungskosten wird eingegangen.

TECHNIK-WÖRTERBUCH

Informatik

Englisch-Deutsch-Französisch-Russisch

Zusammengestellt von Prof. Dr.-Ing. habil. Erich Bürger
In zwei Bänden. 904 Seiten, Leinen, Bände I/II DDR 92,— M, Ausland 140,— DM.
Bestellangaben: 5539368/Bürger, Wb. Informatik
Dieses neue TECHNIK-WÖRTERBUCH enthält in jeder der vier Sprachen etwa 25000 fachspezifische Wortstellen aus den Gebieten allgemeine Grundlagen der Informatik, Softwareentwicklung, programmtechnische Realisierung, Datenerfassung, Datenverwaltung, Hardwarekomponenten, Systemzuverlässigkeit und Anwendungen der Informatik in Industrie und Wirtschaft.

Auslieferung in diesen Tagen durch den Fachbuchhandel

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN